

Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra obrábění a montáže

## **Hodnocení drsnosti povrchu 2D a 3D metodou**

### **Surface Roughness Evaluation by 2D and 3D Methods**

Student:

Jiří Macháč

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Lenka Čepová, Ph.D.

Ostrava 2010

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra obrábění a montáže

## Zadání bakalářské práce

Student: **Jiří Macháč**  
Studijní program: B2341 Strojírenství  
Studijní obor: 2303R002 Strojírenská technologie  
Specializace: 70 Strojírenská technologie  
Téma: **Hodnocení drsnosti povrchu 2D a 3D metodou  
Surface Roughness Evaluation by 2D and 3D Methods**

Zásady pro vypracování:

1. Úvod do problematiky.
2. Přehled současného stavu měření drsnosti povrchu.
3. Metody hodnocení 2D a 3D.
4. Porovnání metod
5. Závěr.

Seznam doporučené odborné literatury:

PERNIKÁŘ, J., TYKAL, M., VAČKÁŘ, J. Jakost a metrologie, Část metrologie. Brno: VUT v Brně, 2004. 151 s. ISBN 80-214-1997-0.  
BUMBÁLEK, B., ODVODY, V., OŠTÁDAL, B. Drsnost povrchu. Praha: SNTL, 1989, 340 s. ISBN 04-252-89.  
ČSN EN ISO 4288: 1997 Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – struktura povrchu: Profilová metoda – pravidla a postupy pro posuzování struktury povrchu.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Lenka Čepová, Ph.D.**

Datum zadání: 18.12.2009

Datum odevzdání: 21.05.2010



prof. Dr. Ing. Josef Brychta  
vedoucí katedry



prof. Ing. Radim Farana, CSc.  
děkan fakulty

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě ..... 21. 5. 2010 .....

.....  .....

### Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ве́доміі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou (bakalářskou) práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́доміі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě: 21. 5. 2010

  
.....  
podpis

Jméno a příjmení autora práce: Macháček Jiří

Adresa trvalého pobytu autora práce: Družba 1213  
763 31 Brumov-Bylnice

## **ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

MACHÁČ, J. *Hodnocení drsnosti povrchu pomocí 2D a 3D metody : bakalářská práce.* Ostrava : VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra obrábění a montáže, 2010, s. Vedoucí práce: Čepová, L.

Hlavní náplní této práce je hodnocení drsnosti povrchu pomocí 2D metody a 3D metody. Je zde popsáno současný stav měření drsnosti pomocí těchto dvou metod. Dále v této práci jsou metody měření, přístroje na měření drsnosti povrchu jak pro 2D tak i pro 3D a způsoby hodnocení drsnosti povrchu. V experimentální části je zhodnocení vybraného zkoušeného vzorku plechu , který je zhodnocen pomocí 2D a 3D metody.

## **ANOTATION OF BACHELOR THESIS**

MACHÁČ, J. *Surface Roughness Evaluation by 2D and 3D methods: Bachelor Thesis.* Ostrava : VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Working and Assembly, 2010, p. Thesis head: Čepová, L.

Main filling those work is evaluation roughness surface by the help of 2D method and 3D method. Is here described actual position measurement roughness by the help of these two methods. Below in those work are method measurement apparatus on surface-roughness measuring how for 2D so and for 3D method of valuation roughness surface. In experimental parts is evaluation chosen tested sample plate that is of assessed by the help of 2D and 3D methods.

## **OBSAH:**

<b>1. ÚVOD.....</b>	<b>9</b>
<b>2. SOUČASNÝ STAV MĚŘENÍ 2D A 3D METODY.....</b>	<b>10</b>
<b>3. METODY MĚŘENÍ 2D A NORMA ISO 4278.....</b>	<b>11</b>
3.1 METODY PRO 2D MĚŘENÍ DRSNOSTI POVRCHU.....	11
3.1.1 Měření pomocí dotykového profilometru.....	11
3.1.2 Kontrola porovnávání s etalony drsnosti .....	12
3.1.3 Metoda světelného řezu.....	13
3.1.4 Interferenční metoda měření drsnosti povrchu.....	15
3.1.5 Měření optickou stínovou metodou.....	16
3.1.6 Měření optickým profilometrem.....	17
3.2 VYBRANÉ ZAKLADNÍ PARAMETRY DRSNOSTI (NORMA ISO 4287).....	18
3.2.1 Výškové parametry (výstupky a prohlubně).....	18
3.2.2 Výškové parametry (průměrné hodnoty pořadnic).....	20
3.2.3 Délkové parametry:.....	22
3.2.4 Tvarové parametry:.....	22
3.2.5 Geometrické parametry:.....	23
3.2.6 Filtr povrchu .....	24
3.2.7 Souřadnicový systém.....	24
3.2.8 Skutečný povrch.....	24
3.2.9 Profil povrchu.....	25
3.2.10 Základní profil.....	25
3.2.11 Profil drsnosti.....	25
3.2.12 Profil vlnitosti.....	25
3.2.13 Základní délka $l_r$ .....	26
3.2.14 Vyhodnocovaná délka $l_n$ .....	26
<b>4. METODY MĚŘENÍ 3D DRSNOSTI POVRCHU.....</b>	<b>27</b>
4.1 DOTYKOVÉ MĚŘENÍ POMOCÍ INDUKČNÍHO SNÍMAČE.....	27
4.2 BEZDOTYKOVÉ MĚŘENÍ POMOCÍ CLA SNÍMAČE.....	27
4.3 BEZDOTYKOVÉ MĚŘENÍ POMOCÍ LASEROVÉHO SNÍMAČE.....	28

4.4 PARAMETRY 3D DRSNOSTI.....	29
<b>5. PŘÍSTROJE PRO 3D A 2D MĚŘENÍ.....</b>	<b>30</b>
5.1 PŘÍSTROJE PRO 3D MŠŘENÍ DRSNOSTI POVRCHU .....	30
5.1.1 Talysurf CLI.....	30
5.1.2 Talysurf CLI 2000.....	31
5.1.3 Některé další přístroje Talysurf CLI.....	32
5.1.4 Talysurf CCI.....	33
5.1.5 Talysurf CCI 3000.....	33
5.1.6 Talysurf CCI 6000.....	34
5.2 PŘÍSTROJE PRO 2D MĚŘENÍ DRSNOSTI POVRCHU: .....	35
5.2.1 Surtonic 25.....	35
5.2.2 Form Talysurf Intra.....	36
5.2.3 SURFTEST SJ-301 .....	36
<b>6. ZPŮSOB HODNOCENÍ 2D A 3D METODY DRSNOSTI POVRCHU .....</b>	<b>38</b>
6.1 HODNOCENÍ 2D METODY DRSNOSTI POVRCHU.....	38
6.1.1 Odhadování parametrů.....	38
6.1.2 Pravidla pro porovnávání měřených hodnot s tolerančními mezerami.....	39
6.1.3 Hodnocení parametrů.....	40
6.1.4 Pravidla a postupy pro kontrolu dotykovými přístroji.....	41
6.2 HODNOCENÍ 3D METODY DRSNOSTI POVRCHU.....	43
6.2.1 Softwarová podpora.....	43
6.2.2 Program analýzy povrchu TalyMap.....	43
<b>7. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST .....</b>	<b>47</b>
7.1 MATERIÁL.....	47
7.2 METALOGRAFIE.....	47
7.3 VÝSLEDKY Z OPTICKÉHO PROFILONETRU TALYSURF CCI: .....	48
7.3.1 Výsledky 2D metody.....	49
7.3.2 Výsledky 3D metody.....	54
7.3.3 Zhodnocení 2D a 3D metody.....	56
<b>8. ZÁVĚR.....</b>	<b>57</b>

## SEZNAM POUŽITÉHO ZNAČENÍ, SYMBOLŮ A ZKRATEK

Značení	Význam	Jednotky
Pp,Rp,Wp	Největší výška výstupku profilu	μm
Pv,Rv,Wv	Největší hloubka prohlubně profilu	μm
Pz,Rz,Wz	Největší výška profilu	μm
Pc,Rc,Wc	Průměrná výška prvků profilu	μm
Pt,Rt,Wt	Celková výška profilu	μm
Pa,Ra,Wa	Průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu	μm
Pq,Rq,Wq	Průměrná kvadratická úchylka posuzovaného profilu	μm
Psk,Rsk,Wsk	Šikmost posuzovaného profilu	μm
Pku,Rku,Wku	Špičatost posuzovaného profilu	μm
PSm,RSm,WSm	Průměrná šířka prvků profilu	μm
Pmr(c),Rmr(c),Wmr(c)	Materiálový poměr profilu (nosný podíl)	μm
$\lambda_s$	Filtr určující rozhraní mezi drsností a kratšími složkami vln přítomnými na povrchu	μm
$\lambda_c$	Filtr určující rozhraní mezi složkami drsnosti a vlnitosti	mm
$\lambda_f$	Filtr určující rozhraní mezi vlnitostí a delšími složkami vln přítomnými na povrchu	mm
2D	Profilová metoda	
3D	Plošná (prostorová) metoda	
OV	Optické vlákno	
CCD	Součástka používaná pro snímání obrazové informace	
CLI	Řady profilometrů Talysurf	
CLA	Konfokální snímač	
CCI	Řady profilometrů Talysurf	
cut-off	Mezní vlnová délka	mm
Rm	Mez pevnosti	Mpa
Rp	Mez kluzu	Mpa



## 1. ÚVOD

S rozvojem vědy a techniky a s uplatňováním jejich výsledků má stále větší význam problematika jakosti strojních součástí. Její důležitost vychází z požadavků snižování dynamicky namáhaných součástí jak za normálních, tak i za extrémních podmínek zatěžování. Růst mezinárodní kooperace nutí proto všechny, kteří jsou zodpovědní za dodržování kvality výrobků, brát v úvahu nejen vlastní normy, ale i ty mezinárodní normy, které významně přispívají k dodržování jakosti povrchu strojních součástí. [1]

Pod pojmem jakosti si z hlediska technologie výroby je třeba chápat přesnost rozměrů, přesnost geometrického tvaru, polohy a drsnosti povrchu. U těchto hodnot se přistupuje na sledování chemických a fyzikálních změn vlastností materiálu v povrchové vrstvě obrobené součásti, vzniklých v důsledku vlastního procesu řezání. Jakost povrchu, tj. drsnost, resp. mikrogeometrie povrchu a vlastnosti povrchové vrstvy, ovlivňují velmi výrazně životnost a spolehlivost provozu součástí. Na drsnosti povrchu závisí přesnost chodu strojních součástí, jejich hlučnost, doba záběru, ztráty třením, elektrická vodivost, přestup tepla, únavová pevnost, odolnost proti opotřebení, odolnost proti korozi atd. Drsnost povrchu tedy ovlivňuje průběhy chemických a fyzikálních jevů, které provázejí činnost funkčního povrchu dané součásti. [1]

V bakalářské práci se budu zabývat hodnocením drsnosti povrchu pomocí dvou metod. Pomocí metody 2D a 3D. Cílem této práce bude zhodnotit metody 2D a 3D při použití měřeného vzorku plechu. V první kapitole se budu zabývat současným stavem měření drsnosti povrchu pomocí 2D a 3D metody. V druhé kapitole budu popisovat metody 2D měření a jejich normu ISO 4287. V další kapitole rozeberu metody 3D. Poté se budu zabývat měřidly, kterými se v současnosti hodnotí drsnost povrchu. V 6 kapitole se budu zabývat hodnocením metod 2D a 3D. V experimentální části se zaměřím na hodnocení vzorku plechu pro 2D a 3D metodu drsnosti povrchu.

## 2. Současný stav měření 2D a 3D metody

Vývoj měření a hodnocení struktury povrchu zaznamenaly v uplynulých letech výrazný pokrok. Přední výrobci zabývající se hodnocením drsnosti povrchu reagují velmi aktivně na nové požadavky zahrnující kvalitu funkčních povrchů součástí z progresivních konstrukčních materiálů, které jsou spojeny s vysokou přesností rozměrů, tvarů a vzájemné polohy obvykle malých funkčních ploch. Výsledkem komplexního vývoje je nejen zvyšování technické úrovně aktuálních měřidel a vyhodnocování zařízení pro strukturu povrchu, ale i příprava nových technicky lepších měřidel a její metodiky. [10]

Výrobci měřicí techniky drsnosti povrchu nabízejí široký sortiment měřících přístrojů. Tyto přístroje pokrývají celou aplikační oblast od dílenských jednoduchých měřidel (měří 1 až 5 parametrů drsnosti povrchu) až po měřicí přístroje, které jsou určeny k analýzám a pro laboratorní měření. Tyto přístroje nám vyhodnocují několik desítek parametrů měření základních profilů, vlnitosti, drsnosti povrchu atd. [10]

Současný stav měření drsnosti povrchu 2D metodou je podobný jako v uplynulých letech jen se malinko liší. Měření drsnosti povrchu 2D se využívá v dnešní době nejčastěji pomocí profilometrů. Řada firem nabízí spoustu možností jak hodnotit drsnost povrchu. Mezi nejznámější v této oblasti jsou mezinárodní firmy Taylor Hobson a Mitutoyo. Tyto firmy se zabývají aktuálními problémy měření drsnosti povrchu a snaží se vylepšovat své měřicí přístroje a systémy.

Současným stavem měření drsnosti povrchu 3D metod se zabývá několik světově významných pracovišť zabývajících se hodnocením topografie povrchů, které vyvíjí značné úsilí definovat soubor parametrů pro 3D hodnocení povrchů. Přes toto úsilí dosud neexistuje mezinárodně uznaný standard pro 3D hodnocení povrchu. Výběr 3D parametrů drsnosti povrchů vychází z koncepce standardů 2D parametrů drsnosti povrchů, která je výsledkem řešení praktických problémů zejména ve strojírenské oblasti. [8] V současnosti patří mezi nejaktivnější a nejlepší firmy pro měření drsnosti povrchu 3D měření firma Taylor Hobson.

### 3. Metody měření 2D a norma ISO 4278

V dnešní době je řada různých přístrojů a metod k měření drsnosti povrchu jak pro 2D metodu tak i pro 3D metodu. V dalších částech kapitoly si popíšeme některé aktuální metody, které se používají jak pro vědecké účely tak i pro dílenskou kontrolu drsnosti povrchu.

#### 3.1 Metody pro 2D měření drsnosti povrchu:

Nejpoužívanější přístroje pro měření 2D metody jsou stále měřidla mechanická. U mechanických měřidel se využívá hrotu snímače, který důsledkem tlaku tlačí hrot na daný měřený povrch. V tomto důsledku dochází k plastické a elastické deformaci materiálu na povrchu. U skoro většiny případů měření dochází k poškození povrchu důsledkem hrotu snímače. Je to pro nás velice nevhodné jak pro vyhodnocovaný povrch tak i pro výsledky měření.

##### 3.1.1 Měření pomocí dotykového profilometru

Dotyková metoda snímání drsnosti povrchu je v celosvětovém měřítku velmi rozšířena. Elektrické měřicí přístroje, které se používají v průmyslové výrobě, jsou vybaveny analogovými zesilovači měřených hodnot nebo mikropočítači, které ze snímaného profilu okamžitě vyhodnotí žádané parametry drsnosti povrchu. Kontrolovaný plošný povrch se snímá ve dvojrozměrném řezu profilu. [4]

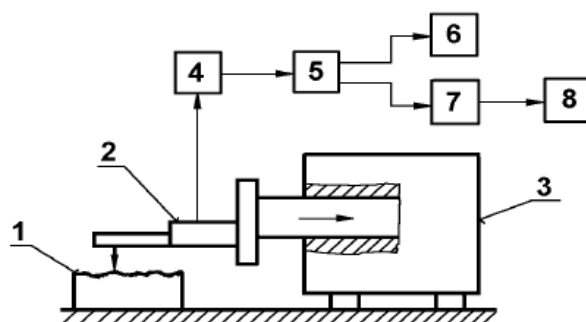
Pro snímání se používá diamantový hrot s úhlem 90° a 60°. Pro snímání je důležité volba směru snímání, který má být kolmý na stopu nástroje. Vertikální vychýlení snímače se převádí v elektromagnetickém měniči na elektrické signály a přivádí se do vyhodnocovaného zařízení. [4]

Mechanické metody např. dotykový profilometr (obr.3.1) mají některé své výhody a nevýhody (tab.3.1).

Tab. 3.1 Nevýhody a výhody mechanických metod [9]

Nevýhody dotykových měřidel	Výhody dotykových měřidel
- destrukce povrchů u měkkých materiálů	- měří strojírenské povrchy
- pouze 2D měření	- velká rozlišovací schopnost
- pomalý pohyb hrotu po zkoušeném povrchu	- přímé měření parametrů topografie povrchu
- nemožnost dálkového řízení	- překoná zbytky materiálu a olejový film

- 1 – Měřená součást.
- 2 – Snímací hlavice s hrotem.
- 3 – Posunový mechanismus.
- 4 – Zesilovač.
- 5 – Filtr.
- 6 – Registrační jednotka.
- 7 – Jednotka, která zpracovává signál.
- 8 – Zobrazovací jednotka.



Obr. 3.1 Dotykový profilometr [3]

Správnost výsledků měření ovlivňují [3]:

- poloměr zaoblení snímacího hrotu (2, 5 a 10 $\mu$ m)
- měřicí (přítlačná) síla (0,00075N)
- vrcholový úhel snímacího hrotu (90°, 60°)
- rychlost změny měřicí síly
- celkové geometrické uspořádání systému snímače

### 3.1.2 Kontrola porovnávání s etalonu drsnosti

Metoda je založena na porovnávání drsnosti povrchu součásti s drsností etalonů buď pouhým okem nebo pomocí mikroskopu, popř. optického komparátoru. [3]

Univerzálními pomůckami pro posuzování drsnosti povrchu jsou porovnávací vzorky obráběcích procesů, které jsou různě obrobeny na jmenovité hodnoty řady drsnosti povrchu (obr. 3.2). [1]

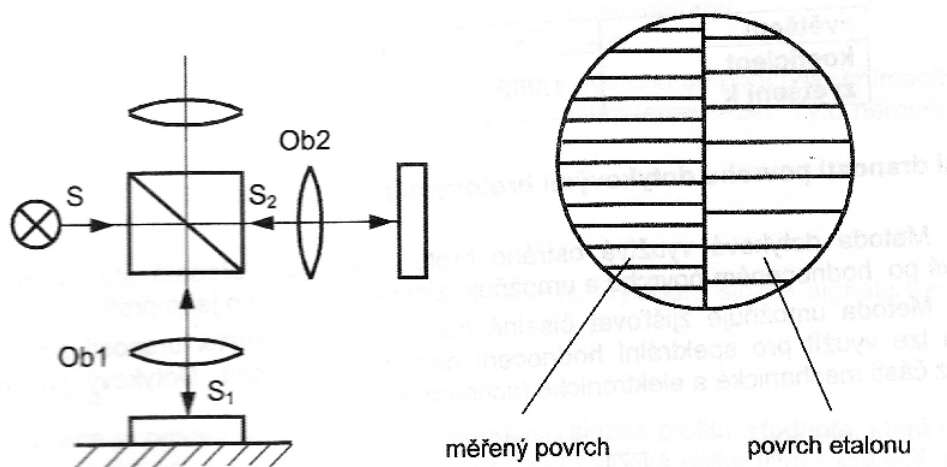


Obr. 3.2 Vzorkovnice etalonů [6]

Máme různé druhy vzorkovnic vyrobené podle normy soustružením, frézováním, broušením a hoblováním. Tato metoda porovnávání pomocí vzorků obrábění je velice nepřesná.

Oblíbenými pomůckami pro zvyšování rozlišovací schopnosti oka jsou lupy a mikroskopy. Mikroskopy s vrchním osvětlením umožňují pozorovat povrchy ve světlém nebo tmavém poli. Rysky a vady na velmi hladkém povrchu se stanou jasně zřetelné při mikroskopickém zobrazení ve tmavém zorném poli, které vznikne při šikmém osvětlení povrchu porušením totálního odrazu světla od kontrolované plochy. [1]

Mikroskopem COMPAREX je možné pozorovat povrchy při kolmém i šikmém osvětlení (obr.3.3).



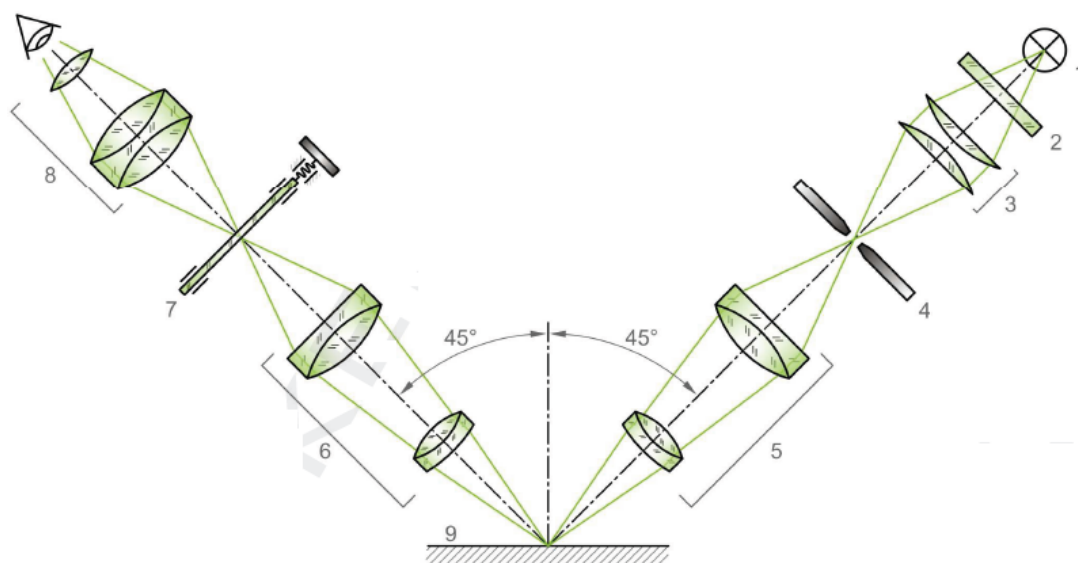
Obr. 3.3 Princip mikroskopu COMPAREX [3]

### 3.1.3 Metoda světelného řezu

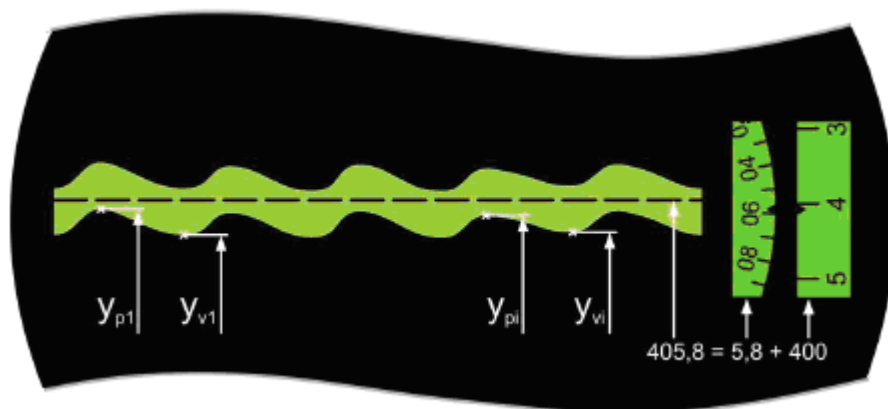
Základní schéma přístrojů pro měření drsnosti povrchu optickou metodou světelného řezu je (obr. 3.4). Na sloupu hmotnostního stojanu je výškové a otočně přestavitelné rameno s osvětlovacím a pozorovacím mikroskopem, kde osy svírají  $90^\circ$ .

Ze zdroje světla procházejí paprsky filtrem a kondenzorem. Rovnoběžný svazek paprsků je omezen štěrbinou do tvaru velmi tenké světelné roviny a tento paprsek je promítán soustavou čoček objektivu pod úhlem  $45^\circ$  na naměřený povrch. [1]

Průnikem této roviny nerovnostmi povrchu vznikne obraz profilu šikmého řezu nerovnosti plochy, a tento tvar má většinou světlé pruhy ve tmavém poli mikroskopického obrazu (obr. 3.5). Rozsah použití těchto měřících mikroskopů je omezený. Metoda je limitována dobrou odrazivostí materiálu hodnoceného povrchu součástí. [3]



Obr. 3.4 Schéma dvojitého mikroskopu pro měření drsnosti povrchu metodou světelného řezu [6]



Obr. 3.5 Tvar světlozelené stužky ve tmavém poli [6]

*parametry:*

$y_p$ -souřadnice výstupku profilu

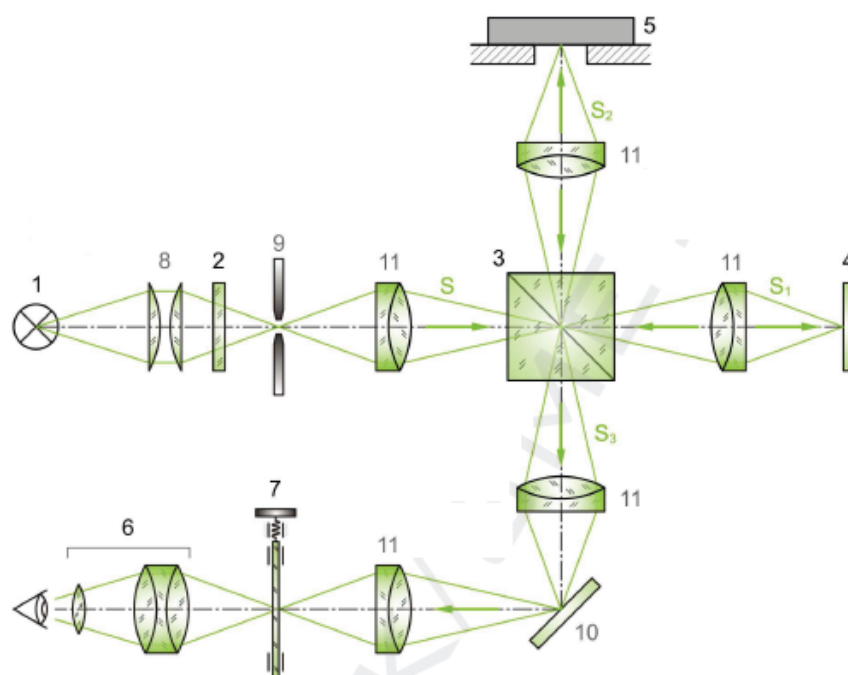
$y_{vi}$ -souřadnice prohlubně profilu

### 3.1.4 Interferenční metoda měření drsnosti povrchu

Interferenční metoda se využívá pro měření drsnosti povrchu velmi jemně obrobených ploch (broušené, lapované, superfinišované plochy). Princip této metody spočívá ve skládání vln, které mají stejnou frekvenci a konstantním fázovým posuvem (koherentní vlnění), čím se dosáhne využití jednoho zdroje, když se světlo rozdělí a opět spojí. Interference se v okuláru jeví jako soubor světlých a tmavých křivek. [5]

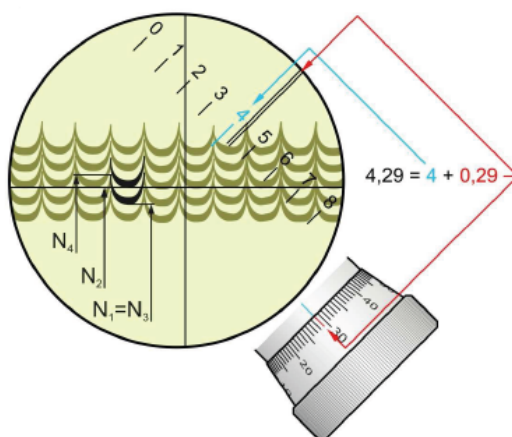
Optická schémata interferometru jsou na (obr. 3.6). Světelný paprsek **S** vycházející se zdroje **1** a přechází přes barevný filtr **2** a ten barevný filtr je optickým hranolem s dělicí rovinou **3** rozdělený na dva paprsky. Jeden paprsek **S1** je přepuštěný na etylénové zrcadlo **4** a druhý paprsek **S2** je usměrněný na kontrolovaný povrch měřeného předmětu **5**. Oba paprsky se odrážejí a vracejí zpět do hranolu, kde se spojují do paprsku **S3** a jsou usměrněné do okuláru **6**. Objektivy **11** zabezpečují správné zaostření a zvětšení pozorovaného interferenčního obrazu [5].

*Další parametry:* **7** – destička s osovým křížem a stupnicí, **8** – kondenzor, **9** – clona, **10** – zrcadlo. [5]



Obr. 3.6 Optické schéma interferometru [5]

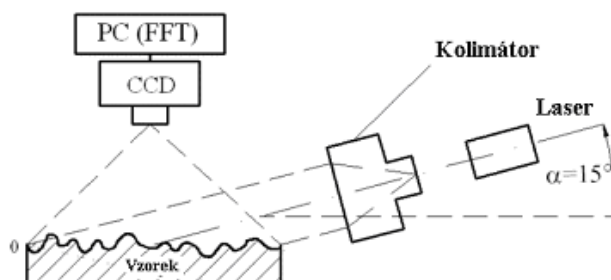
Při měření na interferometru se pro získání hodnoty vychýlení interferenčního pásku využívá okulár s mikrometrickou strukturou. V zorném poli okuláru se nachází pohyblivý nitkový kříž a pevná stupnice. Pomocí mikrometrické struktury se vhodná čára nitkového kříže postupně nastavuje do polohy pro odčítání jednotlivých hodnot sloužících pro výpočet parametru drsnosti. Pohled do okuláru a způsob odečítání hodnoty je vidět na (obr. 3.7). [5]



Obr. 3.7 Pohled do okuláru interferometru [5]

### 3.1.5 Měření optickou stínovou metodou

Povrch vzorku je osvětlen laserem pod úhlem  $15^\circ$ , paprsek laseru prochází kolimátorem, který jej usměrňuje tak, aby osvětlil celou plochu měřeného vzorku (obr. 3.8). Tímto osvětlením vzniká distribuce světla a stínů. Tato distribuce světla a stínů je snímána CCD kamerou, která je napojena na počítač (PC) s vyhodnocovacím programem signálu, který umožňuje provést rychlou Fourierovu transformaci (Fast Fourier Transform). Pomocí této transformace získáváme amplitudově-frekvenční spektrum. [7]

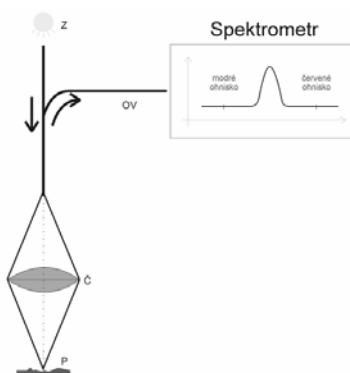


Obr. 3.8 Schéma bezkontaktní optické stínové metody [7]



### 3.1.6 Měření optickým profilometrem

Bílé světlo ze zdroje Z je optickým vláknem OV přivedeno ke spojné čočce Č. Po dopadu na měřený povrch vzorku je fokusované světlo optimálně odraženo zpět do zmíněné čočky a optickým vláknem přivedeno do miniaturního spektrometru. (obr. 3.9) [8]



Obr. 3.9 Princip činnosti optického profilometru MicroProf FRT v základním provedení s optickým senzorem CHR 150 N [8]

Některé z výhod a nevýhod optických metod

Tab. 3.2 Výhody a nevýhody optických metod: [9]

Výhody optických přístrojů	Nevýhody optických přístrojů
- bezkontaktnost a nedestruktivnost	- nepřímé měření parametrů topografie povrchu
- okamžité výsledky	- složitější interpretace výsledků
- schopnost kontinuální kontroly a řízení kvality povrchu	
- opakovatelnost měření	
- možnost měření z větší vzdálenosti	
- velká rychlost snímání	

### 3.2 Vybrané základní parametry drsnosti( norma ČSN EN ISO 4287)

ČSN EN ISO zavedená v roce 1998, následující parametry drsnosti povrchu jsou vybrané z normy a definované v níže uvedených kapitolách.

#### 3.2.1 Výškové parametry:

##### a) Největší výška výstupku profilu ( $P_p$ , $R_p$ , $W_p$ )

Výška  $Z_p$  nejvyššího výstupku profilu v rozsahu základní délky  $l_r$  (viz obr. 3.10). [2, 3]

##### b) Největší hloubka prohlubně profilu ( $P_v$ , $R_v$ , $W_v$ )

Hloubka  $Z_v$  nejnižší prohlubně profilu v rozsahu základní délky  $l_r$  (viz obr. 3.11). [2, 3]

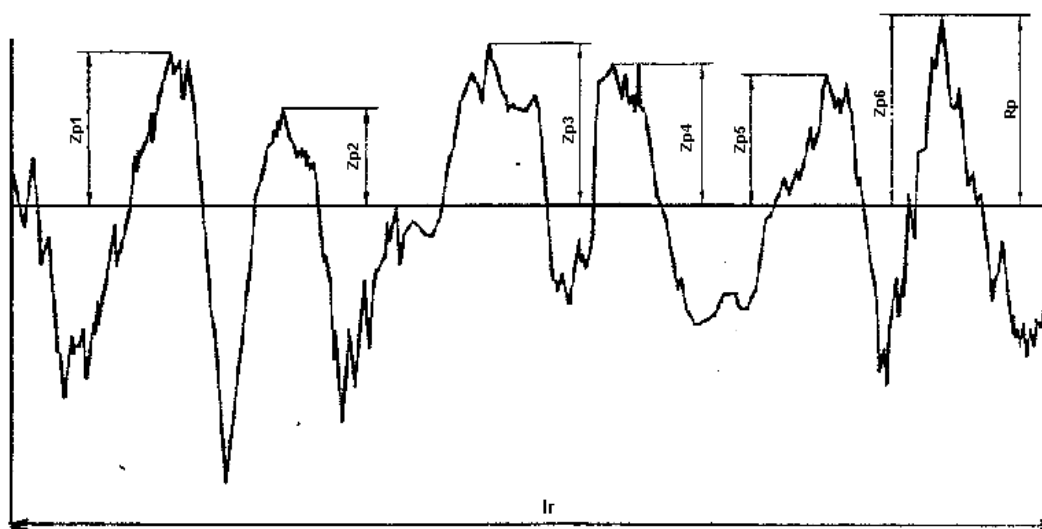
##### c) Největší výška profile ( $P_z$ , $R_z$ , $W_z$ )

Součet výšky  $Z_p$  nejvyššího výstupku profilu a hloubky  $Z_v$  nejnižší prohlubně profilu v rozsahu základní délky  $l_r$  (viz obr. 3.12). [2, 3]

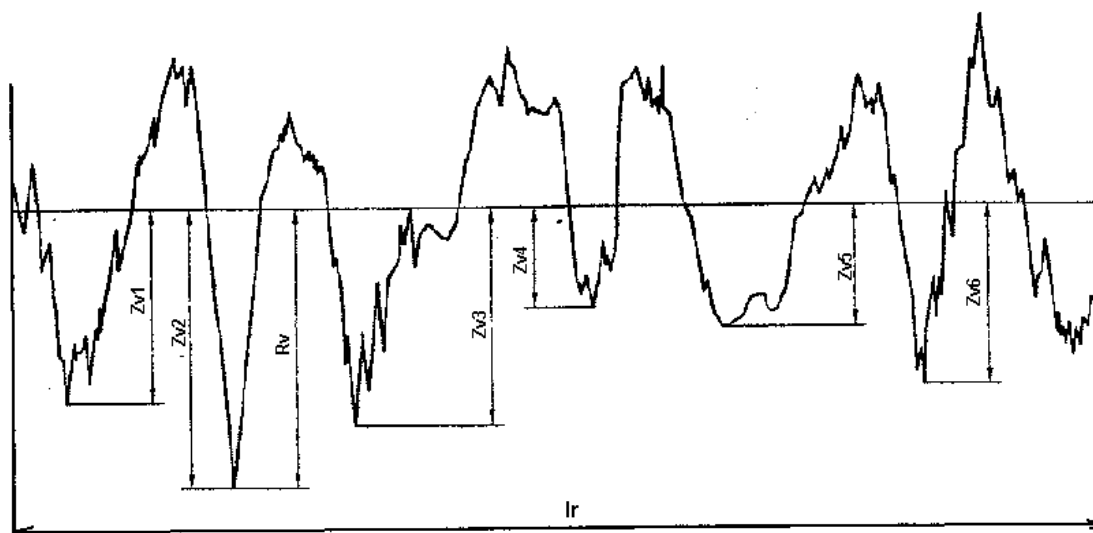
##### d) Průměrná výška prvků profile ( $P_c$ , $R_c$ , $W_c$ )

Průměrná hodnota výšek  $Z_t$  prvků profilu v rozsahu základní délky  $l_r$  (viz obr. 3.13). [2, 3]

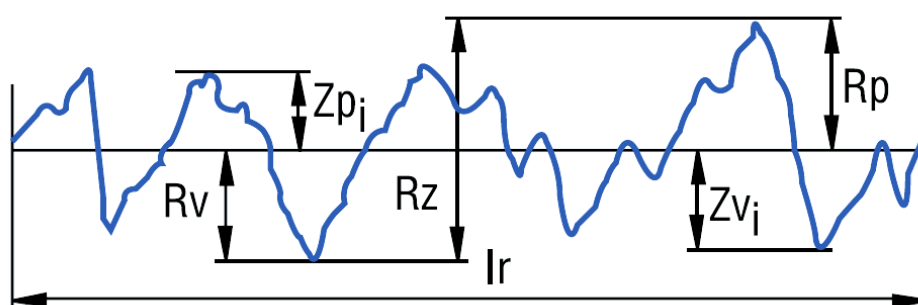
$$P_c, R_c, W_c = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m Z_{ti} \quad (1)$$



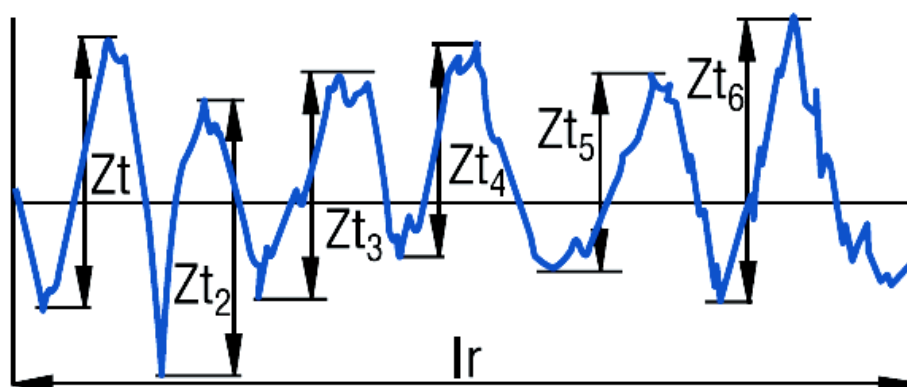
Obr. 3.10 Největší výška výstupků profilu (příklad profilu drsnosti). [2]



Obr. 3.11 Největší hloubka prohlubní profilu (příklad profilu drsnosti). [2]



Obr. 3.12 Největší výška profilu (příklad profilu drsnosti). [13]



Obr. 3.13 Výška prvků profilu (příklad profile drsnosti). [13]

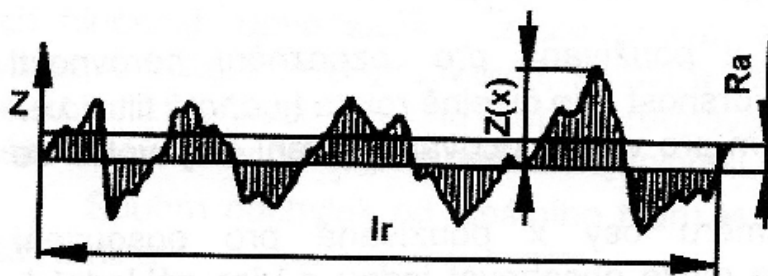
**e) Celková výška profilu ( $P_t$ ,  $R_t$ ,  $W_t$ )**

Součet výšky  $Z_p$  nejvyššího výstupku profilu a hloubky  $Z_v$  nejnižší prohlubně profilu v rozsahu vyhodnocované délky  $l_n$ . [2,3]

**3.2.2 Výškové parametry:****a) Průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu ( $P_a$ ,  $R_a$ ,  $W_a$ )**

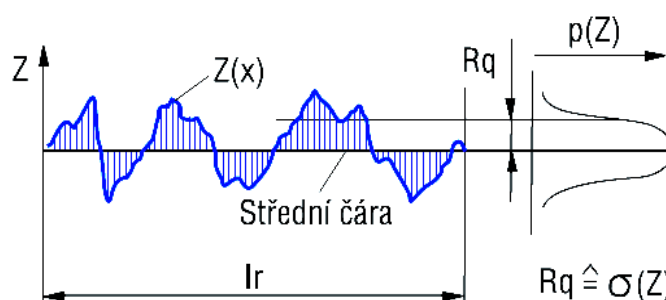
Aritmetický průměr absolutních hodnot pořadnic  $Z(x)$  v rozsahu základní délky  $l_r$  (obr. 3.14). [2, 3]

$$P_a, R_a, W_a = \frac{1}{l_r} \int_0^{l_r} |Z(x)| dx \quad (2)$$

Obr. 3.14 Parametr  $R_a$  [3]**b) Průměrná kvadratická úchylka posuzovaného profilu ( $P_q$ ,  $R_q$ ,  $W_q$ )**

Průměrná kvadratická hodnota pořadnic  $Z(x)$  v rozsahu základní délky  $l_r$  (obr. 3.15). Parametr  $R_q$  má význam při statickém pozorování profilu povrchu, neboť zároveň odpovídá standardní odchylce z profilových souřadnic. [3]

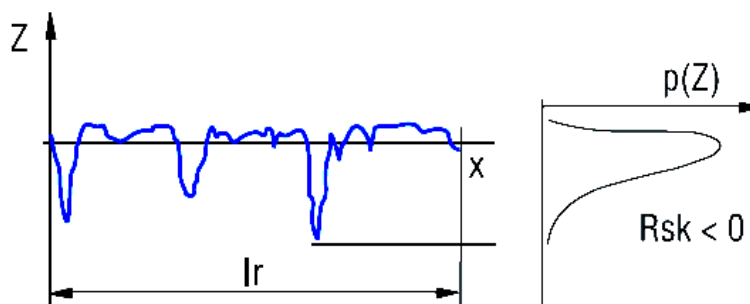
$$R_q = \sqrt{\frac{1}{l_r} \int_0^{l_r} z^2(x) dx} \quad (3)$$

Obr. 3.15 Parametr  $R_q$  [13]

### c) Šikmost posuzovaného profilu ( $R_{sk}$ )

Podíl průměrných hodnot třetích mocnin pořadnic  $Z(x)$  a třetí mocniny hodnoty  $R_q$  v rozsahu základní délky  $l_r$  (obr. 3.16). Negativní hodnota  $R_{sk}$  odpovídá dobrým vlastnostem nosnosti profilu. [3]

$$R_{sk} = \frac{1}{R_q^3} \left[ \frac{1}{l_r} \int_0^{l_r} |Z^3(x)| dx \right] \quad (4)$$

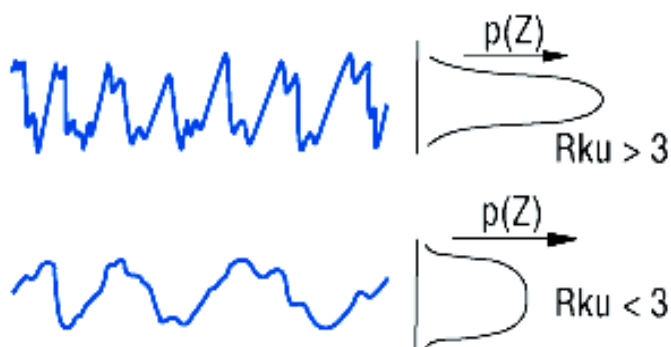


Obr. 3.16 Parametr  $R_{sk}$  [13]

### d) Špičatost posuzovaného profilu ( $R_{ku}$ )

Podíl průměrných hodnot čtvrtých mocnin pořadnic  $Z(x)$  a čtvrté mocniny hodnoty  $R_q$  v rozsahu základní délky  $l_r$ . Při normálním rozdělení souřadnic profilu  $R_{ku}=3$ , ostřejší výstupky a rýhy  $R_{ku} > 3$  a naopak. (obr. 3.17) [3]

$$R_{ku} = \frac{1}{R_q^4} \left[ \frac{1}{l_r} \int_0^{l_r} |Z^4(x)| dx \right] \quad (5)$$



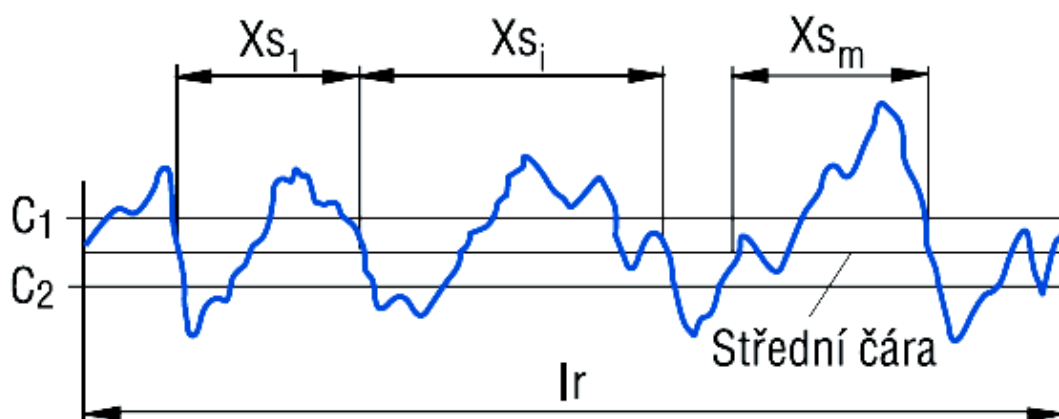
Obr. 3.17 Parametr  $R_{ku}$  [13]

### 3.2.3 Délkové parametry:

#### a) Průměrná vzdálenost prvků profilu (RSm)

Průměrná hodnota šířek  $X_s$  prvků profilu v rozsahu základní délky  $l_r$  (obr.3.18). Vyhodnocení vyžaduje zadání hladiny řezu  $C_1, C_2 \dots$  atd. Parametr **RSm** má význam pro délkové (frekvenční) hodnocení drsnosti a charakterizuje hlavně základní periodické složky. [3]

$$RSm = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m X_{s_i} \quad (6)$$



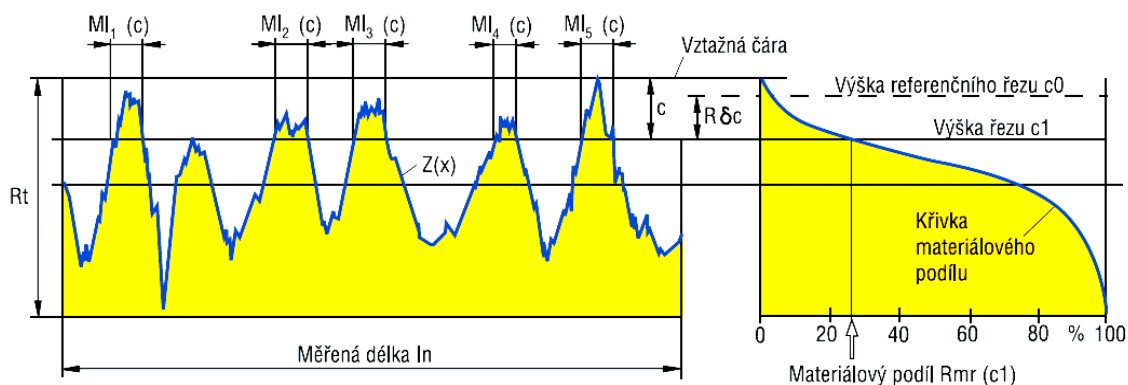
Obr. 3.18 Parametr Rsm [13]

### 3.2.4 Tvarové parametry:

#### a) Materiálový podíl profilu (nosný podíl) Rmr(c)

Procentuální podíl délky materiálu prvků profilu **MI(c)** na dané úrovni **c** k vyhodnocované délce **ln** (obr. 3.19)[2, 3].

$$Rmr(c) = \frac{100}{l_n} \sum_{i=1}^n MI(c) = \frac{100 \cdot MI(c)}{l_n} [\%] \quad (7)$$

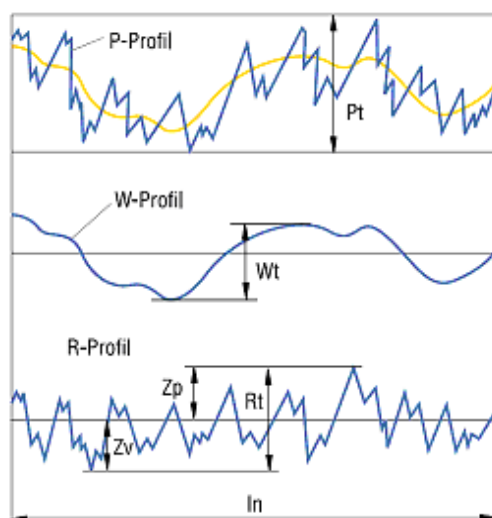
Obr. 3.19 Parametr  $R_m(c)$  [13]

### 3.2.5 Geometrické parametry:

**a) P – parametr:** parametr vypočítaný ze základního profilu (obr. 3.20).  $P_t$  (*hloubka profilu*) je nejmenší vzdálenost mezi dvěma rovnoběžnými mezními přímkami z nefiltrovaného profilu povrchu uvnitř měřené délky  $l_n$ . [13]

**b) R – parametr:** parametr vypočítaný z profilu drsnosti (obr. 3.20).  $W_t$  (*hloubka vln*) je vzdálenost mezi nejvyšším a nejhlubším bodem vyrovnaného profilu vlnitosti (drsnost odfiltrována) uvnitř měřené délky  $l_n$ . [13]

**c) W – parametr:** parametr vypočítaný z profilu vlnitosti (obr. 3.20).  $R_t$  (*největší hloubka drsnosti*) je svislá vzdálenost od nejvyšší špičky k nejhlubší rýze filtrovaného profilu drsnosti uvnitř měřené délky  $l_n$ . [13]

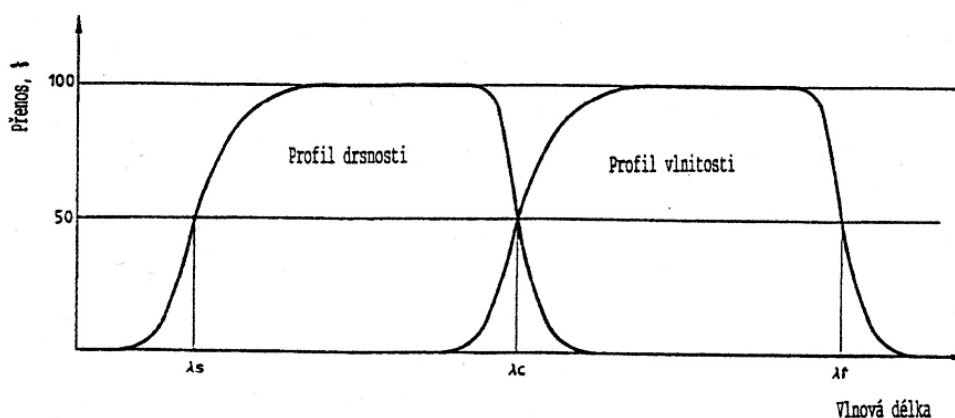


Obr. 3.20 Geometrické parametry [13]

### 3.2.6 Filtr povrchu

Filtr rozděluje profily na dlouhovlnné a krátkovlnné složky (ISO 11562). Pozn. V přístrojích pro měření drsnosti, vlnitosti a základních profilů na (obr. 3.21) jsou používány tři filtry, definované v ISO 11562. Mají stejné přenosové charakteristiky ale rozdílné hodnoty mezní vlnové délky cut-off. [2] Tři filtry profilu:

- $\lambda_s$  *filtr povrchu*: filt definující rozhraní mezi drsností a kratšími složkami vln přítomnými na povrchu (obr. 3.21). [2]
- $\lambda_c$  *filtr povrchu*: filtr definující rozhraní mezi složkami drsnosti a vlnitostí (obr. 3.21). [2]
- $\lambda_f$  *filtr povrchu*: filtr definující rozhraní mezi vlnitostí a dalšími složkami vln přítomnými na povrchu. (obr. 3.21) [2]



Obr. 3.21 Přenosová charakteristika profile drsnosti a vlnitosti [2]

### 3.2.7 Souřadnicový systém

Souřadnicový systém, ve kterém jsou definovány parametry struktury povrchu. Pozn. obvykle je využíván pravoúhlý souřadný systém, ve kterém osy tvoří pravotočivou kartézskou soustavu. Osa X ve směru snímání je souběžná se střední čarou, osa Y také leží na skutečném povrchu a osa Z směřuje s povrhu. To je přijaté v mezinárodní normě. [2]

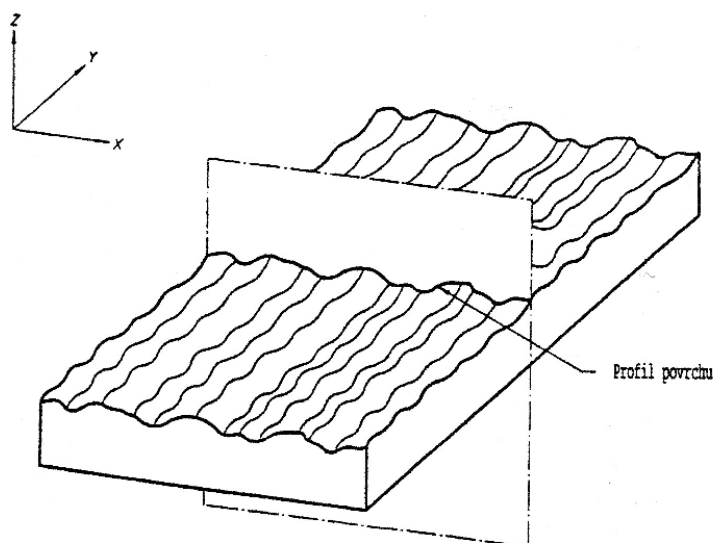
### 3.2.8 Skutečný povrch

Povrch omezující těleso a oddělující ho od okolního prostředí. [2]



### 3.2.9 Profil povrchu

Profil vzniklý jako průsečnice skutečného povrchu a dané roviny. (viz obrázek 3.22) [2]



Obr. 3.22 Profil povrchu [2]

### 3.2.10 Základní profil

Viz ISO 3274. Základní profil je základem pro hodnocení parametrů základního profilu. [2]

### 3.2.11 Profil drsnosti

Profil odvozený ze základního profilu potlačením dlouhovlnných složek použitím filtru  $\lambda_c$ , profil je úmyslně pozměněn. (obr. 3.21) [2]

### 3.2.12 Profil vlnitosti

Profil odvozený postupnou aplikací filtru profilu  $\lambda_f$  a filtru profilu  $\lambda_c$  na základní profil, potlačující dlouhovlnné složky filtrem profilu  $\lambda_f$  a krátkovlnné složky filtrem profilu  $\lambda_c$ , profil je záměrně pozměněn. [2]

### Střední čáry

- střední čára profilu drsnosti – čára odpovídající dlouhovlnné složce profilu potlačeného profilem  $\lambda_c$ . (Viz ISO 11562) [2]
- střední čára profilu vlnitosti – čára odpovídající dlouhovlnné složce profilu potlačeného profilem  $\lambda_f$ . (Viz ISO 11562) [2]
- střední čára základního profilu – čára nejmenších čtverců přiléhající jmenovitému tvaru základního profilu. [2]

### **3.2.13 Základní délka $l_r$**

Délka ve směru osy X používaná pro rozpoznávání nerovnosti charakterizujících daný profil. Základní délka pro drsnost  $l_r$  je číselně rovna hodnotě profilu  $\lambda_c$ . [2, 3] Základní délka a její velikost má zásadní význam pro vyhodnocování měření její volba se provádí nastavením mezní rozteče. (cut off) [3]

### **3.2.14 Vyhodnocovaná délka $l_n$**

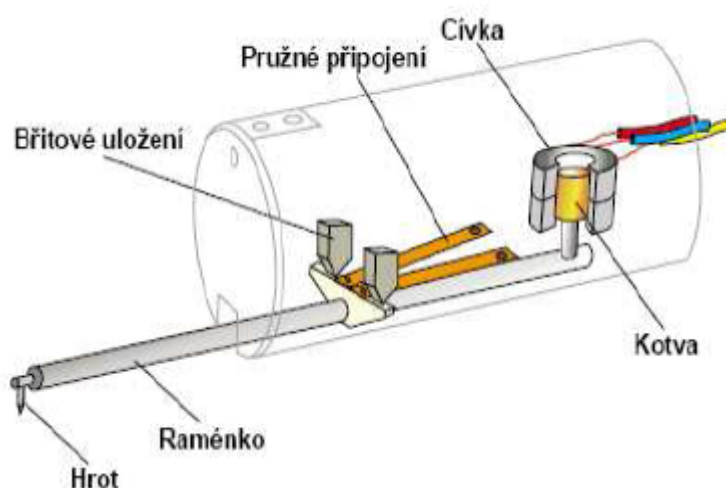
Délka ve směru osy X používaná pro posouzení vyhodnocovaného profilu; vyhodnocovaná délka může obsahovat jednu a více základních délek. [3]

## 4. Metody měření 3D drsnosti povrchu

Metody měření jsou dotykové nebo bezdotykové. Máme různé snímací systémy. Dotykové jsou pomocí indukčního snímání. Bezdotykové jsou pomocí CLA snímače a laserového snímače. Tyto metody rozebereme.

### 4.1 Dotykové měření pomocí indukčního snímače:

Diamantový hrot na snímacím raménku je posouván po povrchu. Vertikální pohyb hrotu při přechodu výstupků a prohlubní je indukčním měřidlem převáděn na elektrický signál. Pro tento systém, který se používá v mnoha přístrojích Taylor Hobson, je charakteristická malá měřicí síla, která minimalizuje nebezpečí poškození zkoušeného povrchu. Na (obr. 4.1) vidíme princip indukčního snímače. [11]

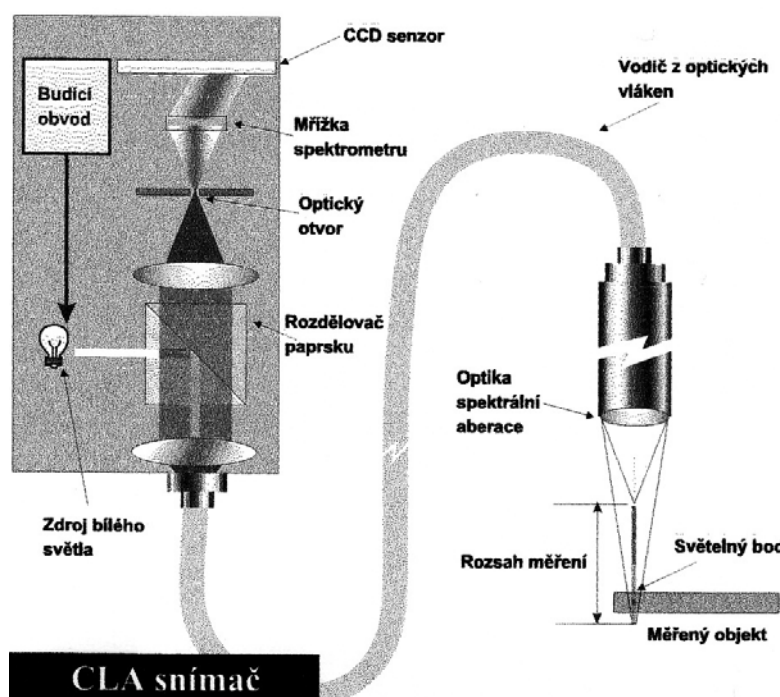


Obr. 4.1 Indukční snímač [11]

### 4.2 Bezdotykové měření pomocí CLA snímače:

Bílé světlo je rozkládáno optikou se spektrální aberací a toto světlo je směřováno na hodnocený povrch. Optika rozloží světlo podle vlnových délek a v každém bodě povrchu se zaostří jen určitá vlnová délka. Světlo odrážené z povrchu prochází clonou a dopadá na mřížku spektrometru, a tato mřížka vychýlí světlo na CCD senzor,

kde je vyhodnocená maximální amplituda odráženého spektra, odpovídající Z - souřadnici snímaného bodu povrchu. Na (obr. 4.2) je schéma CLA snímače. [11]

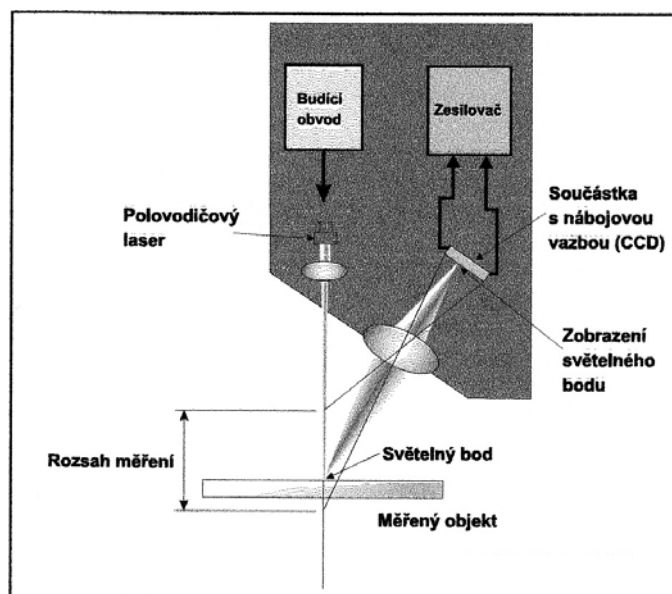


Obr. 4.2 CLA snímač [14]

#### 4.3 Bezdotykové měření pomocí laserového snímače:

Paprsek polovodičového laseru (obr. 4.3) se odráží od hodnoceného povrchu do čočky přijímaného optickým systémem, který ho zaostří na povrch CCD snímače. Poloha dopadajícího paprsku odpovídá Z-souřadnici snímaného bodu. [11]

CCD zajišťuje vynikající hodnotu rozdělení velkého počtu světla v době paprsku. CCD obrazové prvky (jednotlivé CCD snímané elementy) jsou použity pro určení přesné polohy zaměřeného bodu. [14]



Obr. 4.3 Laserový snímač [14]

#### 4.4 Parametry 3D drsnosti

Tyto parametry (tab. 4.1) jsou označeny výrazem "S" místo "R" tzn. že se počítá povrch. Přesněji řečeno, většina z parametrů uvedených jsou odvozeny od odpovídajících 2D parametrům. [20]

Tab. 4.1 Parametry 3D [20]:

<b>Amplitudové parametry</b>	
<b>Sq</b>	Průměrná kvadratická odchylka
<b>Sz</b>	Deset výškových bodů
<b>Ssq</b>	Nesouměrnost výškových distribucí
<b>Sku</b>	Exces výškových distribucí
<b>Prostorové parametry</b>	
<b>Sds</b>	Hustota vrcholků
<b>Str</b>	Struktura průřezového poměru
<b>Sal</b>	Nejrychlejší rozklad autokolerační délky
<b>Std</b>	Struktura směru
<b>Smíšené parametry</b>	
<b>SΔq</b>	Střední kvadratická hodnota šikmosti
<b>Ssc</b>	Aritmetický průměr zakřivení vrcholků
<b>Sdr</b>	Rozvinutá povrchová procentuální oblast
<b>Funkční parametry</b>	
<b>Sbi</b>	Plocha s indexy
<b>Sci</b>	Hlavní zadržování tekutin
<b>Svi</b>	Údolí vrcholků zadržovaný tekutinami

## 5. Přístroje pro 3D a 2D měření

### 5.1 Přístroje pro 3D měření drsnosti povrchu:

Přístroje pro měření 3D metody měření drsnosti povrchu se využívají pro měření vlnitosti také drsnosti a textury povrchu atd. V dnešní době je na trhu pár firem, které se zabývají výrobou měřicí techniky a jejich metodami. Jedna z nejlepších firem dnešní i minulé doby je firma TAYLOR HOBSON, která nabízí široký sortiment jak přístrojů bezkontaktních tak i přístrojů kontaktních. U bezkontaktních profilometrů pro měření drsnosti povrchu je to řada Talysurf CLI. U této řady jsou významné a velice perspektivní tyto profilometry.

#### 5.1.1 Talysurf CLI

Talysurf CLI je vhodný pro všechny výrobní procesy u kterých vyžadujeme přesnou kontrolu tvaru nebo textury povrchu. Rozsah těchto aplikací je obrovský, od výrobků odlévaných, protlačovaných a pýchovaných až po povrchy vyráběné obráběním, které jsou opatřeny povlaky a tepelně deformované. [11]

#### Prostředky pro zpracování, analýzu a zobrazení dat [11]:

- *Prostředky pro zpracování dat:*
  - a) Pracování s vysokým rozlišením.
  - b) Vyrovnání a otáčení.
  - c) Obrácené a zrcadlové zobrazení.
  - d) Vyloučení tvaru a vad.
  - e) Vyjmutí profilu.
- *Prostředky pro analýzu dat:*
  - a) Parametry plochy a objemu.
  - b) 120 parametrů v režimu 2D.
  - c) 40 parametrů v 3D.
  - d) Odečítání povrchu.
  - e) Materiálový poměr v 3D a 2D.
- *Prostředky pro zobrazení dat:*
  - a) Fotomodelování.

- b) Vrstevnicový diagram.
- c) Frekvenční spektrum.
- d) Statické rozdělení.

### 5.1.2 Talysurf CLI 2000

Jedná se o vysoce účinný měřicí přístroj sloužící k rychlému prostorovému hodnocení povrchu s vysokým rozlišením. Zařízení nabízí možnosti měření a analýzy povrchu ve třech osách. Využívá dotykové nebo bezdotykové měřicí techniky. Je snadno ovladatelný a má velice výkonný měřicí systém, vhodný i pro kontrolu většího množství výrobků, je připraven provádět analýzu dat při hodnocení struktury povrchu profilu řezu (2D) i profilu plochy (3D). [10]

Hlavní předností přístroje je univerzálnost. Můžeme měřit buď pomocí indukčního dotykového způsobu Form Talysurf nebo pomocí bezdotykového způsobu reprezentovaným laserovou triangulační sondou 10 mm a konfokálním snímačem (Chromatic Length Aberration – CLA). Uvedené systémy měření zajišťují prakticky neomezené možnosti měření struktury povrchu z hlediska jakosti, přesnosti a druhu materiálu součásti. Systém používá automatický posuv ve všech osách (X, Y, Z) s rychlostí až do 20 mm/s a to nám umožňuje rychlé automatické měření. Velikost měřicí plochy je 200 x 200 x 200 a nosnost stolu 20 kg. Základem programového vybavení přístroje Talysurf CLI 2000 (obr.5.11) je firemní program Talymap, který zabezpečuje veškeré řídicí, kontrolní, vyhodnocovací i informační služby. [10]



Obr. 5.1 Talysurf CLI 2000 [11]

### 5.1.3 Některé další přístroje Talysurf CLI

Mezi tyto přístroje patří bezdotykový profiloměr Talysurf CLI 1000 (obr. 5.12), který je ideální pro malé až středně velké součástky, má stejné rychlosti, přesnost, software a programovatelnost jako předešlý měřicí přístroj CLI 2000[11]. Liší se od Talysurf CLI 2000 měřícím prostorem. Měřicí prostor má v ose (X, Y, Z) 100mm na všech osách. [11]



Obr. 5.2 Talysurf CLI 1000 [11]

Dále je to přístroj Talysurf CLI 500 (obr.5.13), který je doporučován především z hlediska ekonomiky a prostorové efektivnosti. Tento přístroj byl vyroben pro výrobce malých součástí, kterým postačí půdorysná plocha stolu 500x310 mm. Jeho měřicí prostor je v osách (X,Y,Z) 50 mm na všech osách [11]



Obr. 5.3 Talysurf CLI 500 [11]



### 5.1.4 Talysurf CCI

Talysurf CCI je řada moderních třírozměrných bezkontaktních optických měřících přístrojů. Ty jsou určeny k analýzám pokročilého povrchu. Schopnost těchto zařízení nabídnout věrný topografický obraz povrchu s rozlišením 0,01nm v Z - ose v celém snímaném rozsahu, je zdokonalena o 0,4μm laterálního rozlišení. Umožňuje více jak jeden milión datových bodů a okamžitý výsledek měření. [11]

### 5.1.5 Talysurf CCI 3000

Talysurf CCI 3000 (obr. 5.14) druhé generace je určen pro bezkontaktní měření a analýzu drsnosti, vertikálních převýšení a mikrorozměrů. Talysurf CCI 3000 splňuje nejvyšší požadavky na přesnost měření jemných povrchů polovodičů, optických součástí, povrchů dokončovaných diamantovými nástroji, leštěním apod. Při jednom měření lze poskytnout z jednoho měření až 1 milión datových bodů. To vyznačuje vysokou citlivost a rozlišitelnost na odražené světlo. [10]

Běžná doba jednoho měření je 10-20 s. Na přístroji se dají měřit prakticky všechny čisté povrchy od hrubých až po jemně dokončené s odrazivostí světla v rozmezí 0,3-100 %. Měřicí zařízení je vybaveno antivibračním systémem a zařízení pro monitorování, které nám sleduje a zaznamenává aktuální stav funkčních uzlů přístroje. Kalibrace systému mezinárodním etalonem nám zaručuje velmi dobrou spolehlivost a opakovatelnost měření. Standardním vybavením přístroje je program Talymap. [10]

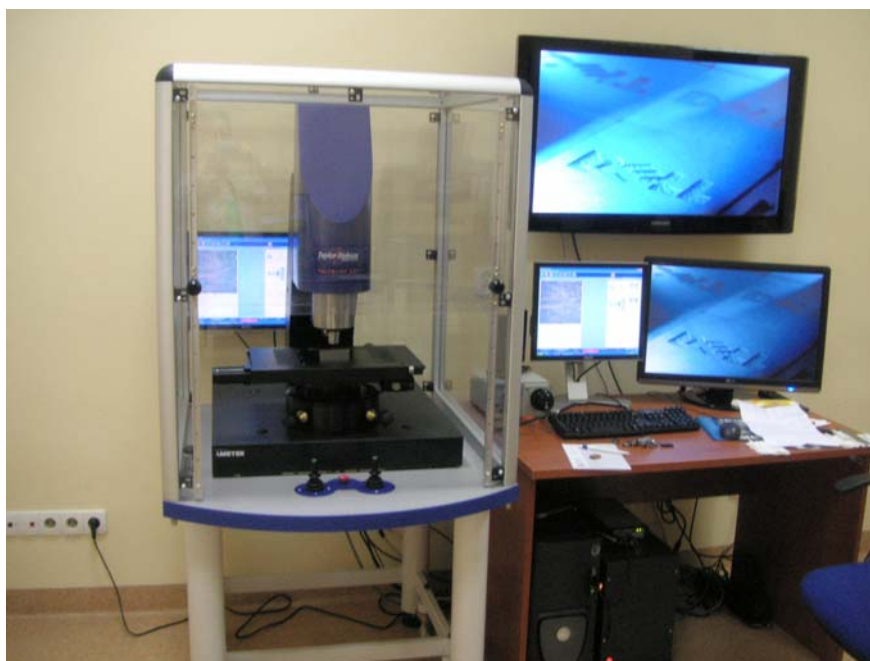


Obr. 5.4 Talysurf CCI 3000 [12]

### 5.1.6 Talysurf CCI 6000

Automatizovaný optický 3D profilometr s rozlišením 0,1A pro měření mikrordrsnosti a vertikálního převýšení. Talysurf CCI 6000 (obr.5.15) je moderní interferometrický metrologický nástroj s vysokým rozlišením a jedna megapixelovým senzorem. Zajišťuje ve své třídě nejlepší opakovatelnost a bezkonkurenční prezentaci povrchu. [11]

Přístroj spojuje hodnocení kvality povrchu mikroskopem s možnostmi přesného měření profilometrem. Výsledkem je systém k 3D měření textury povrchu, převýšení a mikrorozměrů, který prakticky okamžitě prezentuje výsledky. Byl navržen pro měření přesného rozlišení u mnoha rozličných typu povrchů, vyžadujících submikromové a subnanometrické Z rozlišení. Vynikající pro jemně leštěné povrchy optiky, polovodičů, paměťových součástí a dalších aplikací, pro vysoce přesnou 3D analýzu povrchu. Talysurf CCI 6000 má velmi vysokou úroveň přesnosti v bezkontaktním 3D měření se sub-angstromovým rozlišením. [11]



Obr. 5.5 Talysurf CCI 6000

## 5.2 Přístroje pro 2D měření drsnosti povrchu:

Historie vývoje elektronických drsnoměrů se datuje kolem roku 1935 v USA. Od roku 1935 prošly tyto přístroje řadou vývojových kroků, aby lepší zajišťovaly požadavky na kvalitu strojních součástí. Vyvíjely se i standardy kritérií kvality povrchu, které uvádějí do souladu funkčnost ploch pro danou aplikaci se změřenou hodnotou drsnosti. [15] Nejčastějšími současnými přístroji pro měření drsnosti povrchu jsou profilometry. Největší světový výrobce a dodavatel přesné měřicí techniky je Taylor Hobson a Mitutoyo. Uvedeme si některé aktuální měřidla s těchto významných firem.

### 5.2.1 Surtronic 25

Surtronic 25 se vyznačuje velkým displejem s jednoduchým nabídkovým systémem. Tuhost celého zařízení zajišťuje opakovatelně spolehlivé měření drsnosti povrchu v širokém rozsahu aplikací. Surtronic 25 (obr. 5.16) je přenosný měřicí přístroj, který je napájen bateriemi. Přístrojem měříme jak při jeho volném přiložení (na vodorovných, svislých nebo i převrácených plochách) tak i při jeho upnutí v přípravku, které nám zajistí opakované měření součásti, popřípadě měření v laboratořích. [16]

Surtronic 25 měří a hodnotí až 10 parametrů [16] :

#### Parametry výškové (amplitudové)

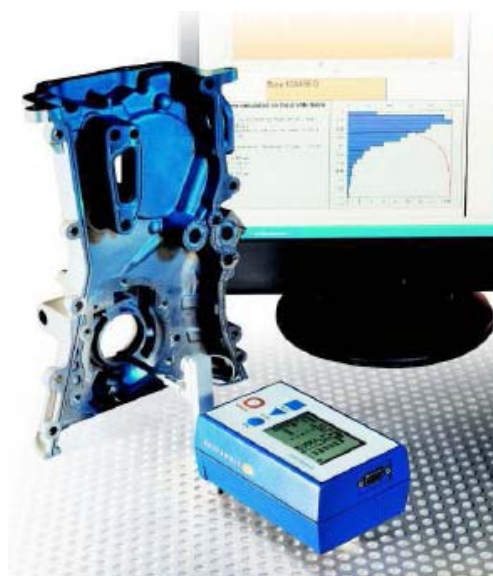
- Ra [průměrná aritmetická odchylka]
- Rsk [šikmost]
- Rz [největší výška profilu]
- Rt [celková výška profilu]
- Rp [největší výška výstupku]
- Rz1max [max. výška výstupek - prohlubeň]

#### Parametry délkové

- R<sub>Pc</sub> [počet výstupků]
- R<sub>Sm</sub> [průměrná šířka prvků profilu]

#### Parametry hybridní

- R<sub>mr</sub> [materiálový poměr]
- R<sub>da</sub> - R<sub>Delta</sub> a [aritmetický průměr sklonu]



Obr. 5.6 Surtronic 25 [16]

### 5.2.2 Form Talysurf Intra

Je uložen v masivním krytu, kde přístroj Talysurf Intra umožňuje velmi dobrou stabilitu měření bez nutnosti kontroly a údržby. Tento přístroj se tímto stal kvalitním, flexibilním a snadno ovladatelným standardem pro měření s složitějšími požadavky na přesnost a pokročilejší analýzy v dílenských podmínkách. [16]

**Intra** je přístroj, kterým lze současně měřit rozměry, tvar a texturu povrchu. Toto mobilní zařízení nepoužívá opěrku, a proto může měřit i vlnitost, tvar a další parametry jako např. materiálový poměr s absolutní spolehlivostí získaných výsledků. Form Talysurf Intra (obr. 5.17) měří a hodnotí parametry pouze z jednoho profilu povrchu a nabízí tak výjimečnou produktivitu měření v širokém spektru průmyslových oborů a aplikací. [16]



Obr. 5.7 Form Talysurf Intra [16]

### 5.2.3 SURFTEST SJ-301

Mobilní přístroj je pro kontrolu jakosti povrchu, který má protiprachově chráněným, dotykově ovládaný displej se zabudovanou tiskárnou. Pro rychlé a nezávislé měření přímo ve výrobě na elektrické síti. [17]

*Charakteristika SURFTEST SJ-301*(obr. 5.18) [17]:

- Nekomplikované a normalizované měření.
- Zatížitelné, dílenské provedení přístroje.

- Přehledný displej.
- Funkce automatické kalibrace se všemi snímači.
- Automatická transportní ochrana snímače.
- Měření ve stísněných prostorech.
- Zdvih snímače 350  $\mu\text{m}$ .
- Dělení 0,01  $\mu\text{m}$ .
- Posuv 12,5 mm.
- Nejmenší Cut-off 0,25 mm.
- Ovládací dotykový displej s tužkou.
- Možnost uložení až pěti naměřených a statistických dat (rozšířitelné přes paměťovou kartu).
- Integrované statistické funkce pro vyhodnocení.



Obr. 5.8 SURFTEST SJ-301 [17]

## **6. Způsob hodnocení 2D a 3D metody drsnosti povrchu**

### **6.1 Hodnocení 2D metody drsnosti povrchu**

Pro hodnocení 2D měření se používají normy ISO 4288, kde je přesně popsáno jak se vyhodnocují dané parametry drsnosti povrchu. V podkapitolách si popíšeme odhadování, pravidla a hodnocení parametrů. Každý, který by chtěl měřit drsnost povrchu by měl znát normy měření a řídit se podle nich

#### **6.1.1 Odhadování parametrů**

##### **Odhad parametrů na základní délce**

Odhad hodnot parametrů je vypočítáván pomocí dat naměřených pouze na základní délce. [18]

##### **Odhad průměrných hodnot parametrů na základní délce**

Je to vypočítané z aritmetického průměru odhadu parametrů ze všech jednotlivých základních délek. Když používáme 5 základních délek u normalizovaného parametru profilu, tak nedoplňujeme symboly indexem. [18]

##### **Parametry definované na vyhodnocované délce**

Pro parametry definující na vyhodnocované délce ( $P_t$ ,  $R_t$  a  $W_t$ ) je odhad hodnoty parametru vypočítáván pomocí naměřených dat z vyhodnocované délky, která je rovna normalizovanému počtu základních délek. [18]

##### **Standardní vyhodnocované délky**

Není-li na výkresu nebo ve výrobní dokumentaci udáno jinak, je vyhodnocovaná délka následující [18]:

- R-parametry: vyhodnocovaná délka je definovaná v 6.1.4 .
- P-parametry: vyhodnocovaná délka je rovna délce měřeného prvku.
- Parametry podle metody Motif (Motif-parametry): vyhodnocovaná délka je definována v 6.1.2 normy ISO 12085:96.

### **6.1.2 Pravidla pro porovnávání měřených hodnot s tolerančními mezerami**

#### **Plochy na kontrolovaných prvcích**

Struktura povrchu kontrolovaných obrobků se může jevit jako homogenní, nebo může být na jednotlivých plochách zcela rozdílná. To může být zjištěno vizuální zkouškou povrchu. V případech, kdy je struktura povrchu homogenní, hodnoty parametrů určené z celého povrchu budou použity pro porovnání s požadavky udávajících na výkresech nebo ve výrobní dokumentaci. [18]

Jsou-li na povrchu jednotlivé plochy s rozdílnou strukturou, hodnoty parametrů, které jsou určeny pro každou jednotlivou plochu budou pro porovnání s požadavky specifikovanými na výkresu nebo ve výrobní dokumentaci použity odděleně. [18]

Pro požadavky specifikované horní mezí parametru budou použity ty jednotlivé plochy na povrchu, u nichž je zřejmé, že mají největší hodnoty parametru. [18]

#### **Pravidlo 16%**

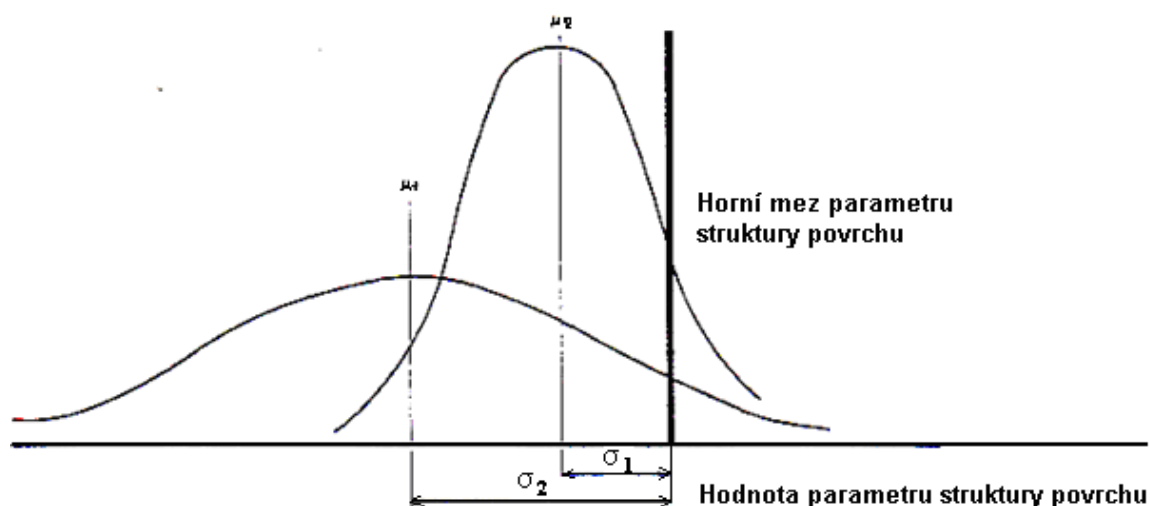
Pro požadavky specifikované horní mezí parametru jsou povrchy považovány za přijatelné, jestliže ne více než 16 % všech naměřených hodnot vybraných parametrů zjišťovaných na vyhodnocované délce přesahuje hodnotu uvedenou na výkresu nebo ve výrobní dokumentaci. [18]

Pro požadavky specifikovaného dolního mezního parametru, jsou povrchy považovány za přijatelné, jestliže není více než 16 % všech naměřených hodnot vybraných parametrů zjišťovaných na vyhodnocované délce je menších než hodnota uvedená na výkresu nebo ve výrobní dokumentaci. [18]

Při stanovení horní a dolní meze parametru bude použita značka parametru bez indexu "max". [18]

### Pravidlo maxima

Při požadavcích specifikovaných největší hodnotou parametru nesmí v průběhu kontroly žádná z měřených hodnot parametru na celém kontrolovaném povrchu přesáhnout hodnotu uvádějící na výkresu nebo ve výrobní dokumentaci. [18] Na (obr.6.1) je vidět horní mez parametru struktury drsnosti  $\sigma$ .



Obr. 6.1 Příklad pro hodnocení mez parametru struktury povrchu [18].

### Nejistota měření

Pro dokázání shody nebo neshody se specifikací musí být měřené hodnoty parametrů porovnány se specifikovanými mezními hodnotami s uvažováním nejistot měření podle pravidel daných v ISO 14253-1. V případě porovnávání výsledků měření s horními a dolními mezemi jsou nejistoty měření odhadovány bez uvažování nehomogenity povrchu, které už jsou započítány přídatkem 16 %. [18]

#### 6.1.3 Hodnocení parametrů

##### Všeobecně

Parametry struktury povrchu nejsou použitelné pro popis vad povrchu. Z těchto důvodů vad povrchu, tj. rýhy a póry nesmějí být při kontrole struktury povrchu uvažovány. Pro rozhodnutí, zda povrch obrobku je nebo není shodný se specifikací, je použit soubor



jednotlivých hodnot parametru struktury povrchu, kde je každý určen na vyhodnocované délce. [18]

Spolehlivost rozhodnutí, zda kontrolovaný povrch vyhovuje či nevyhovuje specifikaci, a přesnost průměrné hodnoty parametru struktury povrchu získané na témže povrchu, závisí na počtu základních délek ve vyhodnocované délce, na které byly jednotlivé hodnoty parametru struktury povrchu získány. Závisí také na počtu vyhodnocovaných délek, tj. na počtu měření na povrchu. [18]

### **Parametry profilu drsnosti**

Pokud se vyhodnocovaná délka pro R-parametry podle ISO 4287 nerovná pěti základním délkám, je jejich horní a dolní mez přepočítána a dána k vyhodnocované délce rovnající se pěti základním délkám. Na (obr. 6.1) se každé znázorněné  $\sigma$  rovná  $\sigma_5$ . [18]

Vztah mezi  $\sigma_n$  a  $\sigma_5$  je dán následující rovnicí [18]:

$$\sigma_5 = \sigma_n \sqrt{(n / 5)} \quad (8)$$

kde  $n$  je počet (menší než 5) použitých základních délek. [18]

## **6.1.4 Pravidla a postupy pro kontrolu dotykovými přístroji**

### **Základní pravidla pro určení mezní vlnové délky cut-off pro měření parametrů profilu drsnosti**

Je-li základní délka specifikovaná požadavkem na výkresu nebo ve výrobní dokumentaci,  $\lambda_c$ , která je mezní vlnovou délkou cut-off je vybrána rovnou této základní délce. Není-li drsnost specifikována (na výkresu nebo ve výrobní dokumentaci) nebo základní délka není specifikována v dané specifikaci drsnosti, je mezní vlnová délka volena postupem daným v další podkapitole měření parametrů profilu drsnosti. [18]

### Měření parametrů profilu drsnosti

Není-li specifikován směr měření, obrobek je polohován tak, že směr řezu odpovídá největším hodnotám výšek parametrů drsnosti ( $R_a$ ,  $R_z$ ). Tento směr bude kolmý k poloze povrchu. Pro izotropní povrchy může být směr řezu libovolný. [18]

Měření je provedeno na té části povrchu, na které lze očekávat kritické hodnoty. To může být posouzeno vizuálním pozorováním. Pro získání nezávislých výsledků jsou jednotlivá měření na této části povrchu rozdělena rovnoměrně. [18]

Pro určení hodnot parametrů profilu drsnosti je potřeba nejprve pohledem rozhodnout, zda profil drsnosti je periodický nebo neperiodický. Na základě tohoto určení, pokud není udáno jinak, následuje postup specifikovaný v normě ISO 4288 (postup pro neperiodický profil drsnosti) nebo v normě ISO 4288 (postup pro periodický profil drsnosti). Jsou-li použity speciální postupy měření, musí být popsány ve specifikacích a v protokolu o měření. [18]

#### a) Postup pro neperiodický profil drsnosti.

- další hodnoty jsou uvedeny v normě ČSN EN ISO 4288,

#### b) Postup pro periodický profil drsnosti.

- další hodnoty jsou uvedeny v normě ČSN EN ISO 4288.

**Základní délky drsnosti pro měření  $R_a$ ,  $R_q$ ,  $R_{sk}$ ,  $R_{ku}$ ,  $R_{\Delta q}$  a křivek a odpovídající parametry pro neperiodické profily (např. broušené povrchy).** [18]

Tab. 6.1 Základní délky drsnosti: [18]

$R_a$	Základní délky drsnosti $l_r$	Vyhodnocovaná délka drsnosti $l_n$
$\mu m$	mm	mm
$(0.006) < R_a \leq 0.02$	0.08	0.4
$0.02 < R_a < 0.1$	0.25	1.25
$0.1 < R_a < 2$	0.8	4
$2 < R_a < 10$	0.25	12.5
$10 < R_a < 80$	8	40

**Základní délky drsnosti pro měření  $R_z$ ,  $R_v$ ,  $R_p$ ,  $R_c$  a  $R_f$  neperiodických profilů (např. broušených profilů) a Základní délky drsnosti pro měření R-parametrů periodických profilů s  $R_{Sm}$  periodických a neperiodických profilů.**

Další parametry jsou uvedeny v normě ČSN EN ISO 4288

## **6.2 Hodnocení 3D metody drsnosti povrchu**

Trojrozměrné měření a hodnocení struktury povrchu plochy představuje posun ke kvalitativně vyšší úrovni komplexního posuzování vlastností povrchu. Technicky náročnější snímání dat pro hodnocení plochy přináší velké množství informací pro reální prezentaci povrchu. Analýzy struktury povrchu nabízejí jak početní hodnocení tak i grafické zobrazení formou axonometrického pohledu, dále topografické mapy nebo záznamy intenzity souřadnic. Prostorová charakteristika povrchu, např. počet a tvar výstupků profilu, nejen zvyšují objektivitu posuzování, ale přispívají k vysvětlení a řešení problémů ve výrobních technologiích. Od původního dotykového měření řady profilů se přechází k bezdotykovému snímání popřípadě k oběma způsobům snímání a speciálním vyhodnocovaným softwarem. [10]

### **6.2.1 Softwarová podpora**

Programy pro hodnocení struktury, které jsou spojeny u měřicích přístrojů s počítači se ukázaly jako velice přínosné jak z hlediska ekonomického tak i technického. Programové vyhodnocování struktury povrchu zajišťuje nejkomplexnější charakteristiku povrchu, včetně tvarového a frekvenčního hodnocení dále parametrů nosné křivky a funkce hustoty souřadnic profilu. Rozšiřuje hodnocení struktury povrchu o řadu různých parametrů např. (relativní délku profilu  $R_{Lr}$  atd.) a doplňuje běžné dvojrozměrné měření profilu povrchu prostorovou analýzou kontrolovaného povrchu (3D Topography Analysis, program Talymap). Příprava programů pro zpracování dat z měřených povrchů zajistila velmi kvalitní změnu v hodnocení jejich struktury. [10]

### **6.2.2 Program analýzy povrchu TalyMap**

Program analýzy povrchu TalyMap představuje výzkumný a průmyslový prostředek využitelný při vývoji výrobků, predikci funkčních vlastností i modernizací technologií v řadě odvětví, včetně brusiv, letecké a automobilní techniky, ložisek, kosmetiky, řezných nástrojů, lékařské techniky, výroby forem polovodičů atd.. TalyMap je průběžně zdokonalován a připravené programy zahrnují inovační trendy s novými standardy a metodami. Software Talymap umožní uživateli zaměřit se na data určité zajímavé oblasti a ta to místo podrobit další podrobné analýze. Dalšími možnostmi programu patří úprava

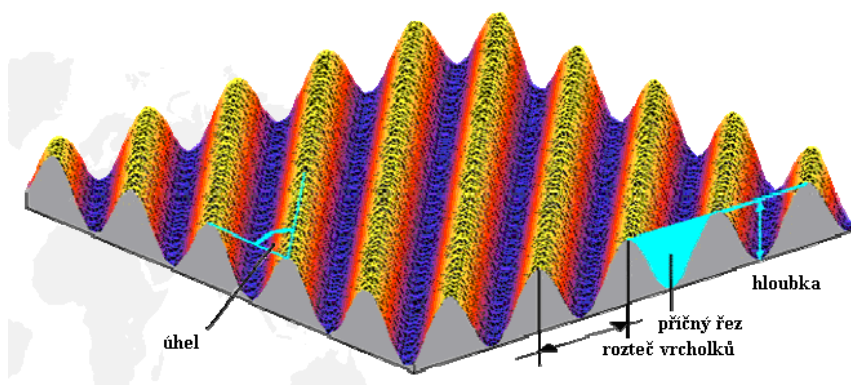
souboru prostorových dat. Nabízené způsoby úprav zahrnují i vymazání dat nebo doplnění interpolovaných dat. Jedním z klasických požadavků na charakteristiku procesu eroze je porovnání povrchu zkoušené součástky před opotřebením a po něm. [10]

**Talymap nabízí rozsáhlé funkční možnosti [19]:**

- Zvětšení vybrané části.
- Zrcadlový obraz a natáčení dat.
- Vyloučení tvaru.
- Filtrace na vlnitost a drsnost.
- Kompletní soubory 3D a 2D parametrů.
- Nastavení mezních hodnot.
- Vyjmutí profilu 2D ze souboru dat 3D.

**Funkce programu - Popis parametrů (obr. 6.2) [19]**

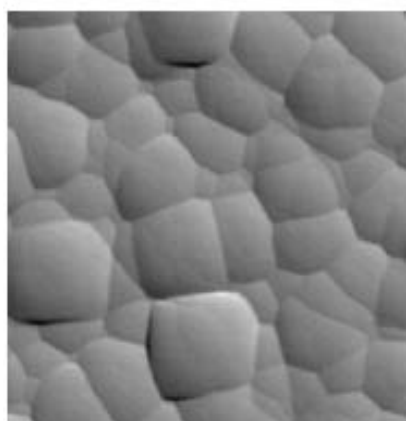
- Starts/rev (šroubovice/ot) - počet (začátků) šroubovic na otáčku.
- Gradient (gradient) - rozteč šroubovic.
- Depth (hloubka) - průměrná vzdálenost výstupek.
- Cross-section (příčný řez) - plocha vlny sinusoidy vymezená vlnovou délkou a hloubkou.



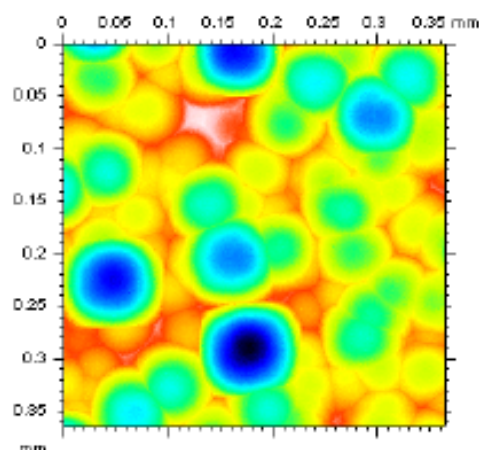
Obr. 6.2 - Parametry programu Talymap [19]

### Některé další standardy a metody [11]

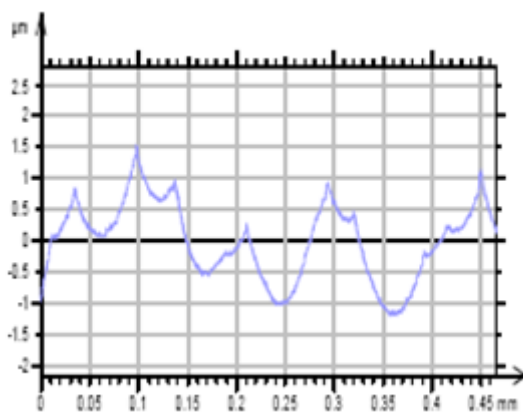
- Foto simulace – (obr. 6.3).
- 3D informace - plošný pohled na stejný vzorek s barevným rozlišením výšek je na (obr. 6.4).
- 3D mapování – barevné znázornění textury povrchu na (obr. 6.5).
- 2D informace - dvourozměrné zobrazení řezu profilu ze zdrojových dat 3D na (obr. 6.6).



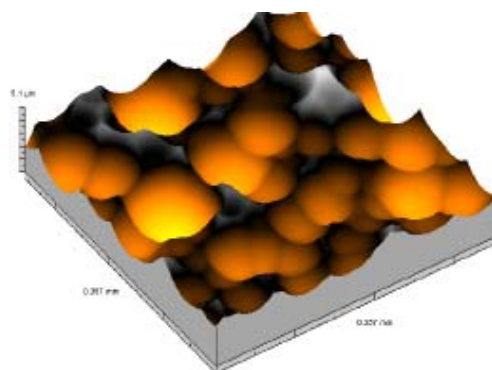
Obr. 6.3 - foto simulace [11]



Obr. 6.4 - 3D informace [11]



Obr. 6.6 - 2D informace [11]



Obr. 6.5 - 3D mapování [11]

### Parametry analýz a programové moduly

Tyto parametry se používají v programu Talymap. Jsou to parametry drsnosti povrchu jak pro 2D tak i pro 3 D měření. Na obr. 6.7 jsou všechny parametry a programové moduly, které tento program dokáže vyhodnocovat a analyzovat.

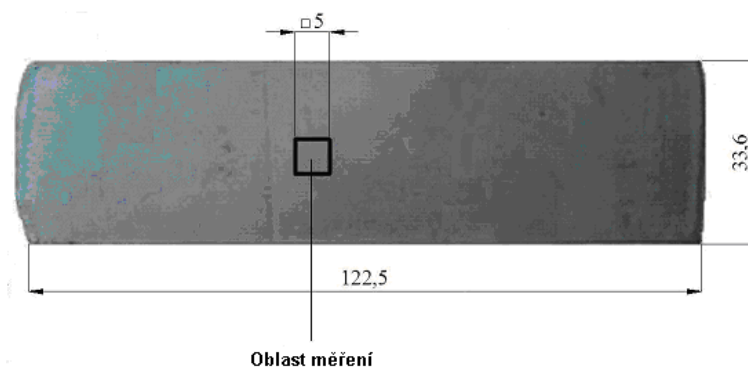
2D Parametry	3D Parametry
<p><b>Základní profil (Nefiltrováno)</b>  Pa, Pc, Pdc*, Pdq, PHSC*, PHtp, Pku, Plo, Plq, Pmr*, Pp, PPc*, Pq, Prms, Psk, PSm, Pt, Ptp, Pv, Py, Pz, Pz(JIS), P3z, Pfd, Pda, Pla, PH, PD, PS, Pvo</p> <p><b>Vlnitost (Filtrováno)</b>  Wa, Wc, Wdc*, Wdq, WHSC*, WHtp, Wku, Wlo, Wlq, Wmr*, Wp, WPC*, Wq, Wrms, Wsk, WSm, Wt, Wtm, Wtp, Wv, Wy, Wz, Wz(JIS), W3z, Wda, Wla, Wmax, WH, WD, WS, Wvo</p> <p><b>Drsnost (Filtrováno)</b>  Ra, Rc, Rdc*, Rdq, RHSC*, RHtp, Rku, Rlo, Rlq, Rmr*, Rp, RPe*, Rq, Rrms, Rsk, RSm, Rt, Rtm, Rtp, Rv, Ry, Rz, Rz (JIS), R3z, Rfd, Rda, Rla, Rmax, RH, RD, RS, Rvo</p> <p><b>Rk (DIN 4776, ISO 13565-2)</b>  A1, A2, Mr1, Mr2, Rk, Rpk, Rvk, Rpk*, Rvk*</p> <p><b>R&amp;W (ISO 12085)</b>  AR, AW, HTrc, Pt, R, Rke, Rpe, Rvke, Rx, Trc, W, Wte, Wx, Kr, Nr, SR, SAR, Kw, Nw, SW, SAW</p> <p><b>Přímost (ISO 12780)</b>  STRt, STRp, STRv, STRq</p> <p><b>* Kvalifikace</b>  Všechny parametry označené hvězdičkou jsou vhodné pro jednotlivou nebo množstevní kvalifikaci, např. materiálový poměr (mr) může být hodnocen v jednom nebo více řezech z jednoho měření.</p>	<p><b>Amplitudové</b>  Sa, Sq, Sp, Sv, St, Ssk, Sku, Sz</p> <p><b>Plošné &amp; Objemové</b>  Stp, SHtp, Smmr, Smvr, Smr, Sdc</p> <p><b>Funkční</b>  Sk, Spk, Svk, Sr1, Sr2, Sbi, Sci, Svi, Sm, Vv, Vm, Vmp, Vmc, Vvc, Vvv</p> <p><b>Rovinnost</b>  FLt, FLTp, FLTs, FLTq, FLTv</p> <p><b>Hybridní &amp; Prostorové</b>  Sdq, Ssc, Sdr</p> <p><b>Analýzy dat</b>  Spc, Sds, Str, Sal, Std, Sfd</p> <p><b>Analýzy dat</b>  Výška stupně, Příčný rozměr, Rozteč, Měření úhlu, Počet vrcholů, Interaktivní Abbott-Firestone křivka, Objem výstupků, Autokorelace, Fraktální analýzy, Analýzy Motif, Frekvenční analýzy, Úprava dat</p> <p><b>Filtry</b>  Gauss, Robustní Gauss, Spline, Vlnitost, Robustní vlnitost a Morfologický</p> <p><b>Progresivní moduly</b>  Vrchol, Vrchol-vrchol &amp; Krut</p> <p><b>Laser-zónová textura</b>  Zdokonalený profil PSD</p> <p><b>Progresivní spojování dat</b></p>

Obr. 6.7 - 2D a 3D parametry analýz a programové moduly. [11]

## 7. Experimentální část

### 7.1 Materiál:

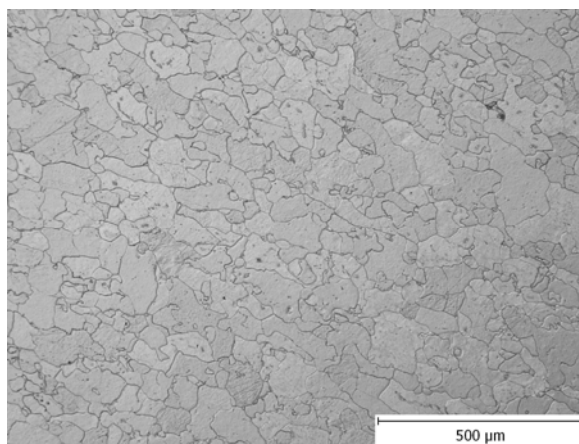
Výchozím materiálem byl válcovaný plech (obr. 7.1) za studena z nízkouhlíkové konstrukční oceli o pevnosti  $R_m = 370$  MPa a smluvní mezi kluzu  $R_{p0,2} = 225$  MPa.



Obr. 7.1 Oblast měření struktury povrchu

### 7.2 Metalografie:

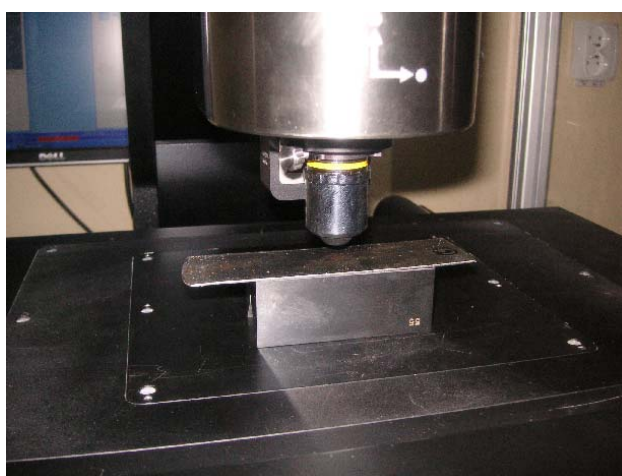
Na vytvořených vzorcích byly provedeny metalografické výbrusy za účelem strukturní analýzy. Výbrusy byly provedeny kolmo k podélné ose vzorků. Pro pozorování metalografických výbrusů byl použit invertovaný mikroskop pro odražené světlo GX51 s maximálním zvětšením 1000x. Na (obr. 7.2) je vidět mikrostruktura výchozího materiálu.



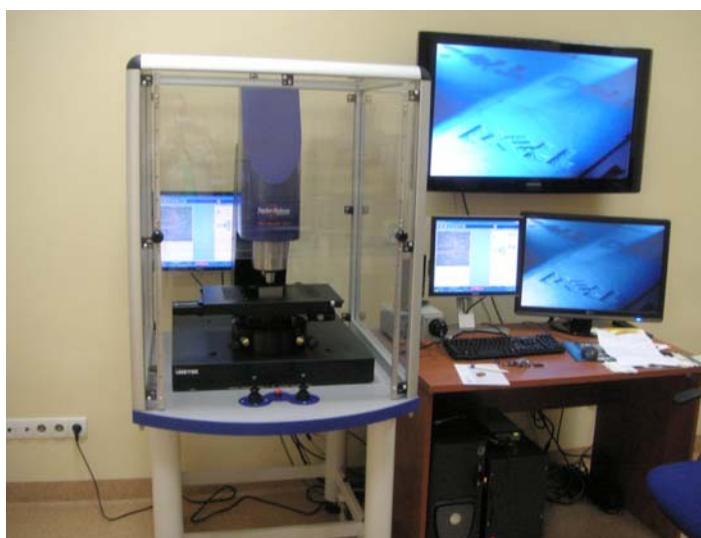
Obr. 7.2 Metalografický výbrus výchozího materiálu

### **7.3 Výsledky z optického profilometru Talysurf CCI:**

Přístrojem pro vyhodnocování experimentu byl přístroj Talysurf CCI 6000. Experiment na Talysurf CCI 6000 byl vykonán na Politechnice Koszalińskiej v Poľsku, Wydział Mechaniczny - Katedra Mechaniki Precyzyjnej - Laboratorium Mikro i Nanoinżynierii. Tento přístroj pro hodnocení struktury povrchu a analyzování dat je popsán v kapitole 5.1.6. Na obr. 7.3 je vidět snímání povrchu plechu ve střední oblasti součásti.



Obr. 7.3 Snímání povrchu plechu

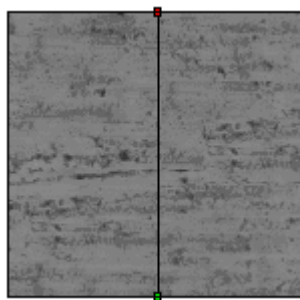


Obr. 7.4 Talysurf CCI 6000

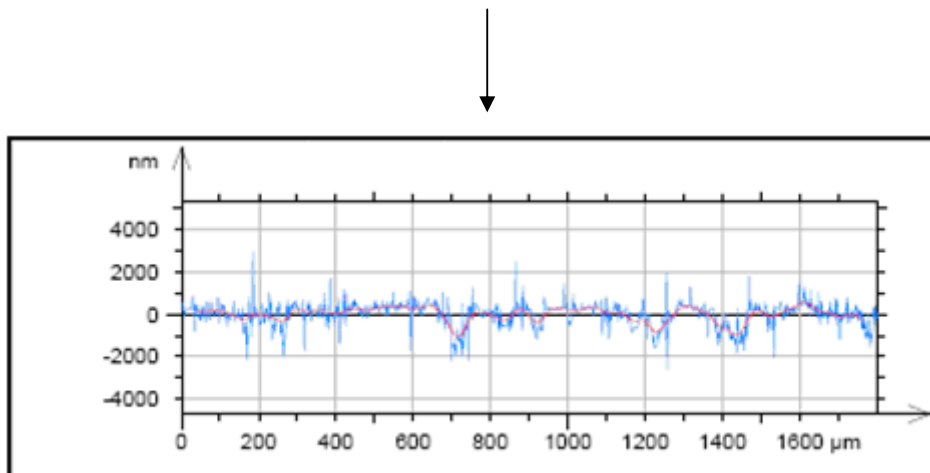


### 7.3.1 Výsledky 2D metody

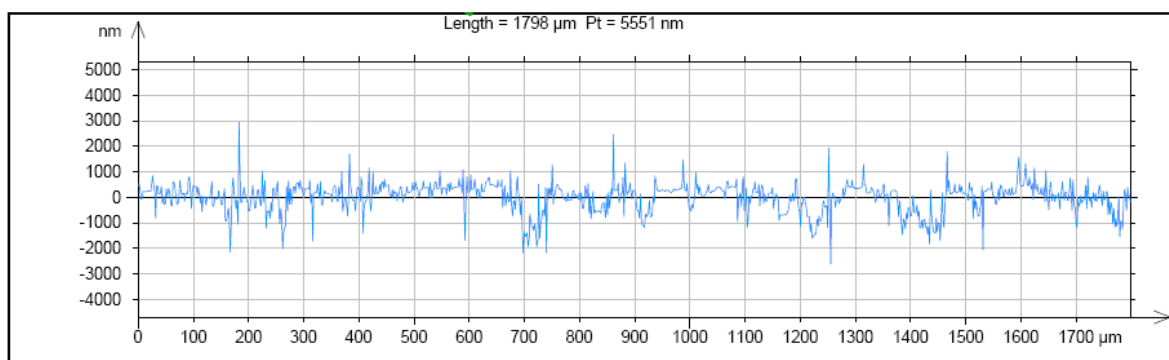
V programu Talymap Platinum byla analyzována proměřená oblast u vzorku plechu. Měřená oblast byla rozdělena na jednu ekvidistanční měřicí linii. Distanční oblast o rozměru 5 x 5 mm ze svislé měřicí linie, byl získán signál, který nese v sobě informace o distribuci výškových fluktuací povrchu.



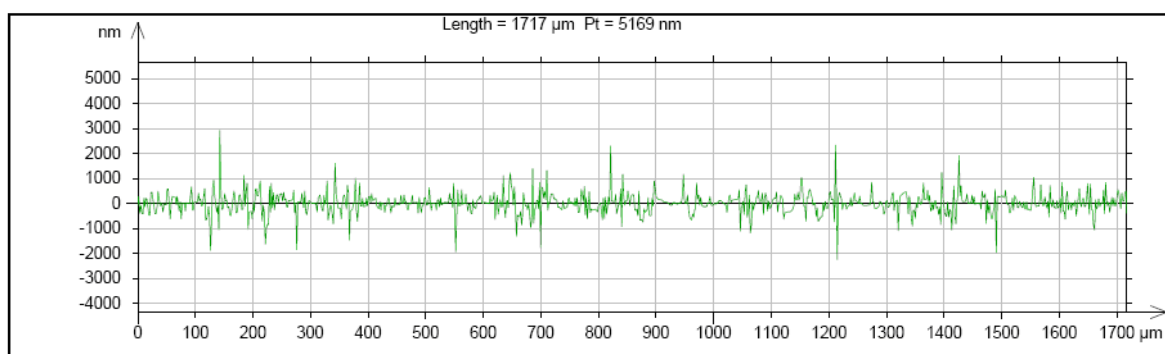
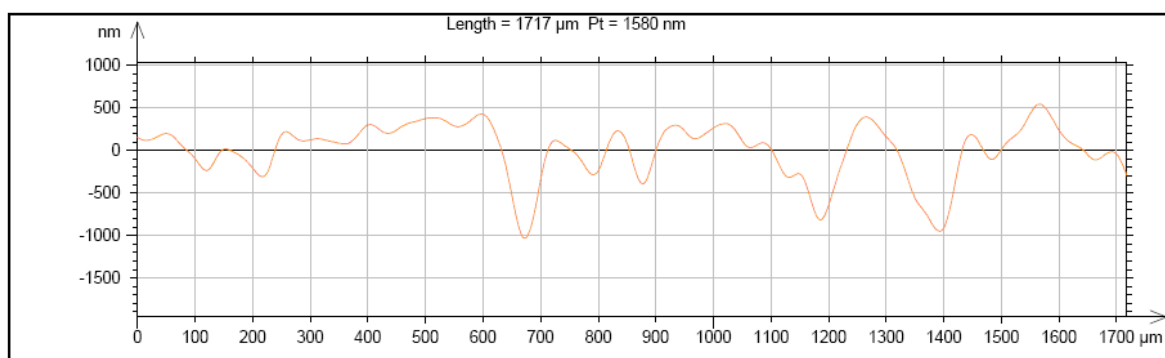
Obr. 7.5 Ekvidistanční linie v distanční oblasti



Obr. 7.6 vlnitost profilu, gauss filtr cut – off 0,8 mm



Obr. 7.7 Profilová křivka (délka=1798  $\mu\text{m}$ , Pt=5551nm)

Obr. 7.8 Křivka drsnosti (délka=1717  $\mu\text{m}$ , Pt=5168nm)Obr. 7.9 Křivka vlnitosti (délka=1717  $\mu\text{m}$ , Pt=1580nm)Tab. 7.1a Parametry vyhodnocené na povrchu součásti ze svislé měřicí linie v distanční oblasti –  
nefiltrované parametry

<b>Parametry vyhodnocené na povrchu součásti</b>	
Parametry vypočítané na celé délce profilu.	
Micro-drsnost filtrování se používá s poměrem 2,5 $\mu\text{m}$ .	
Nefiltrované parametry	
Pa	= 427 nm
Pq	= 578 nm
Pp	= 2946 nm
Pv	= 2604 nm
Pt	= 5551 nm

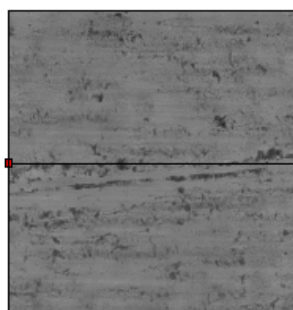
Tab. 7.1b Parametry vyhodnocené na povrchu součásti ze svislé měřicí linie v distanční oblasti –  
parametry drsnosti

Parametry drsnosti , Gauss filtr 0,8 mm		
Ra	=	409 nm
Rq	=	557 nm
Rp	=	2501 nm
Rv	=	2469 nm
Rt	=	4970 nm
Rsk	=	-0.776
Rku	=	5.64
Rz	=	4970 nm
Rmr	=	0.4 % (1000 nm under the highest peak)

Tab. 7.1c Parametry vyhodnocené na povrchu součásti ze svislé měřicí linie v distanční oblasti –  
vlnitost parametrů

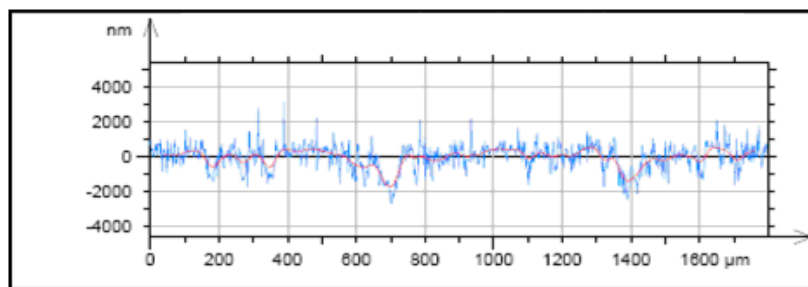
Vlnitost parametrů, Gauss filtr 0,8 mm		
Wa	=	72.2 nm
Wq	=	92.2 nm
Wp	=	153 nm
Wv	=	150 nm
Wt	=	303 nm
Wsk	=	0.015

Měřená oblast, rozdělena na jednu ekvidistanční měřicí linii. Distanční oblast o rozměru 5 x 5 mm z vodorovné měřicí linie byl získán signál, který nese v sobě informace o distribuci výškových fluktuací povrchu.

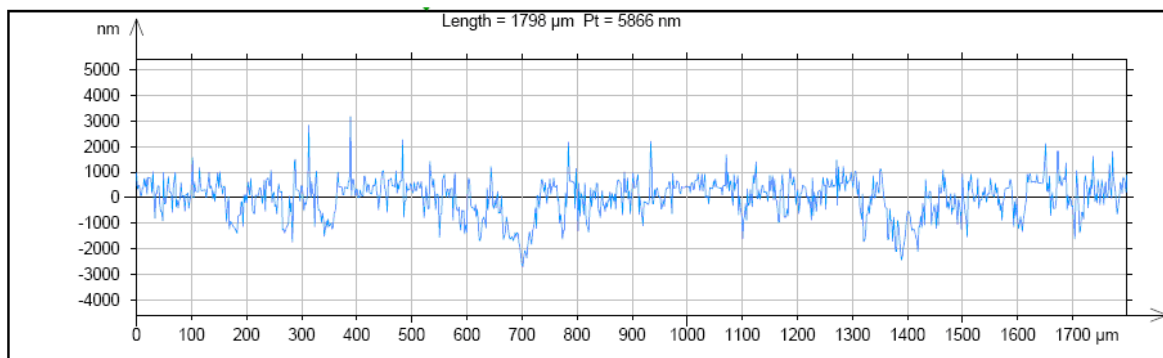
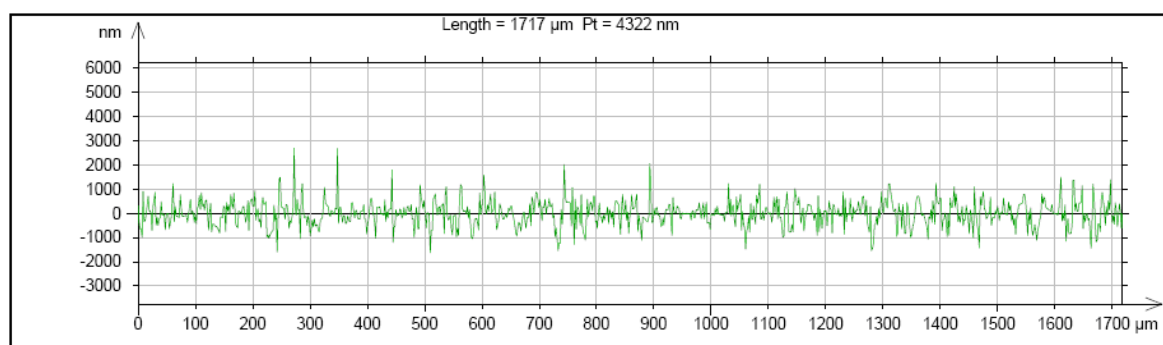
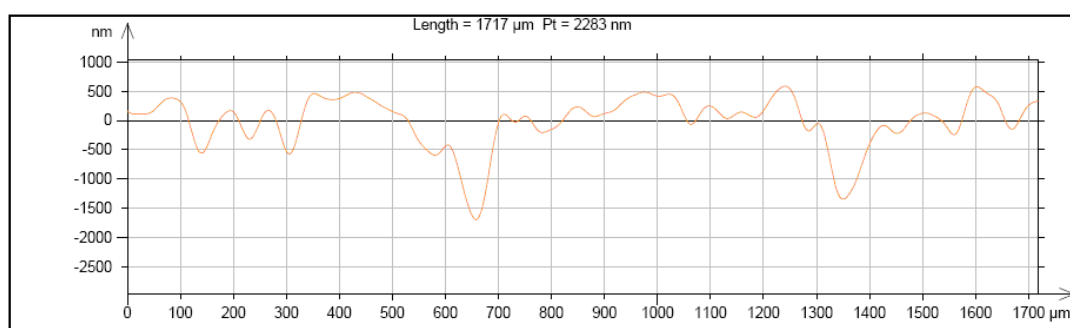


Obr. 7.10 Ekvidistanční linie v distanční oblasti





Obr. 7.11 Vlnění profilu, gauss filtr cut-off 0,8 mm

Obr. 7.12 Profilová křivka (délka=1798  $\mu\text{m}$ , Pt=5866nm)Obr. 7.13 Křivka drsnosti (délka=1717  $\mu\text{m}$ , Pt=4322nm)Obr. 7.14 Křivka vlnitosti (délka=1717  $\mu\text{m}$ , Pt=2283nm)

Tab. 7.2a Parametry vyhodnocené na povrchu součásti z vodorovné měřicí linie v distanční oblasti  
– nefiltrované parametry

<b>Parametry vyhodnocené na povrchu součásti</b>	
Parametry vypočítané na celé délce profilu.	
Micro-drsnost filtrování se používá s poměrem 2,5 $\mu\text{m}$ .	
Nefiltrované parametry	
Pa	= 581 nm
Pq	= 749 nm
Pp	= 3177 nm
Pv	= 2689 nm
Pt	= 5866 nm

Tab. 7.2b Parametry vyhodnocené na povrchu součásti z vodorovné měřicí linie v distanční oblasti  
– parametry drsnosti

Parametry drsnosti, Gauss filtr 0,8 mm	
Ra	= 561 nm
Rq	= 718 nm
Rp	= 2355 nm
Rv	= 2366 nm
Rt	= 4721 nm
Rsk	= -0.552
Rku	= 3.6
Rz	= 4721 nm
Rmr	= 1.2 % (1000 nm under the highest peak)

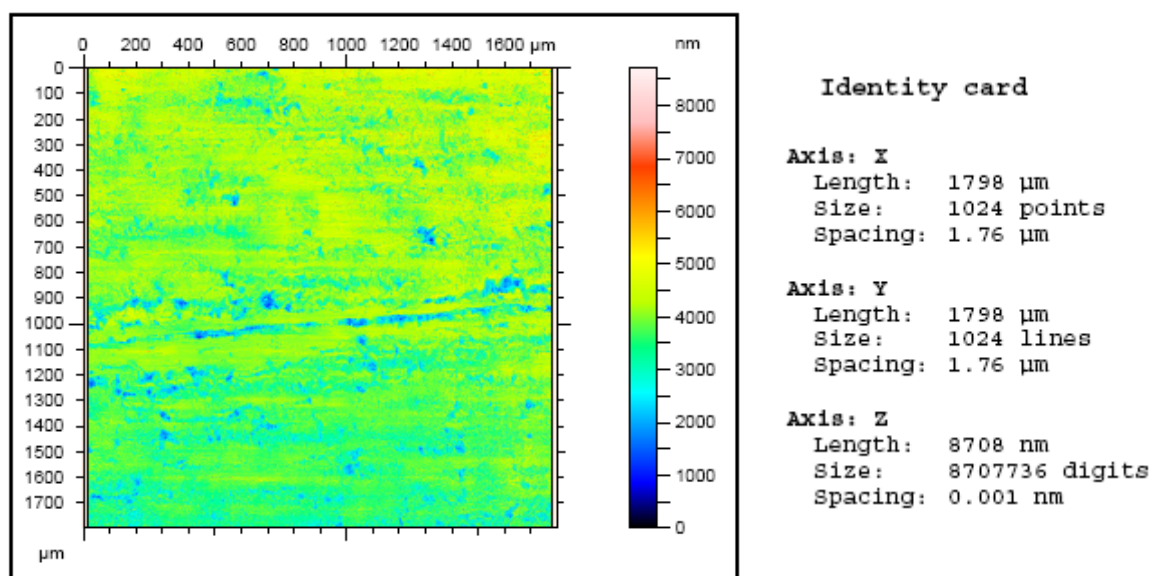
Tab. 7.2c Parametry vyhodnocené na povrchu součásti z vodorovné měřicí linie v distanční oblasti  
– parametry vlnitosti

Vlnitost parametrů, Gauss filtr 0,8 mm	
Wa	= 122 nm
Wq	= 143 nm
Wp	= 170 nm
Wv	= 264 nm
Wt	= 434 nm
Wsk	= -0.814

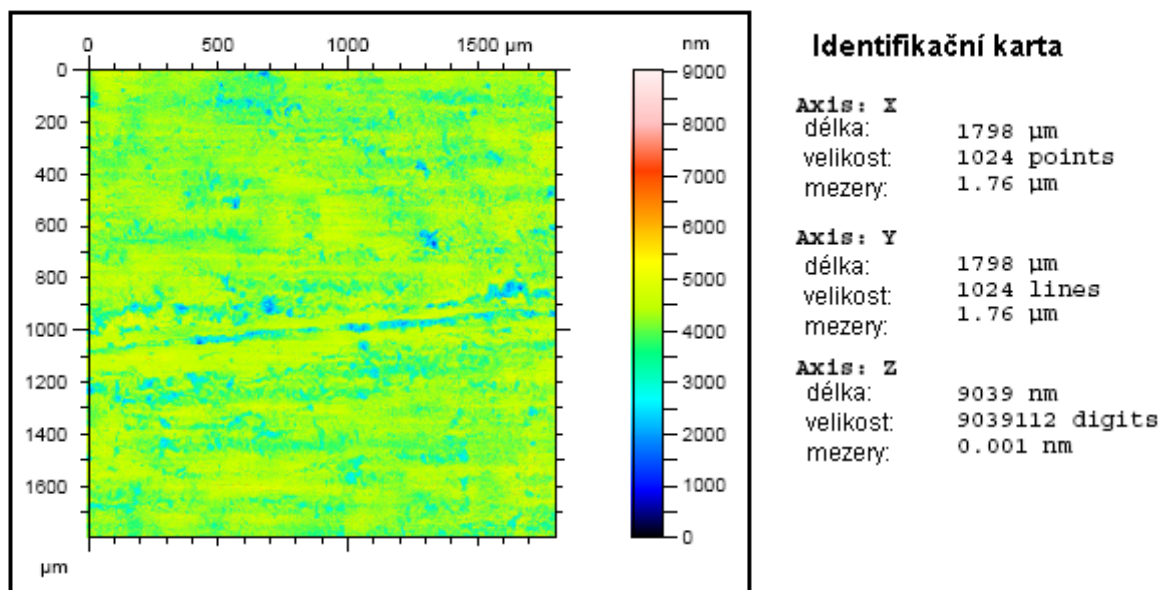
### 7.3.2 Výsledky 3D metody

Plech byl měřený v jedné oblasti optickým profilometrem Talysurf CCI. Na (obr. 7.1) je prezentováno, místo kde byla měřena topografie povrchu plechu. Oblast se prezentuje v prostřední části materiálu. Pomocí optického profilometru byla získána 3D topografie povrchu u měřené oblasti.

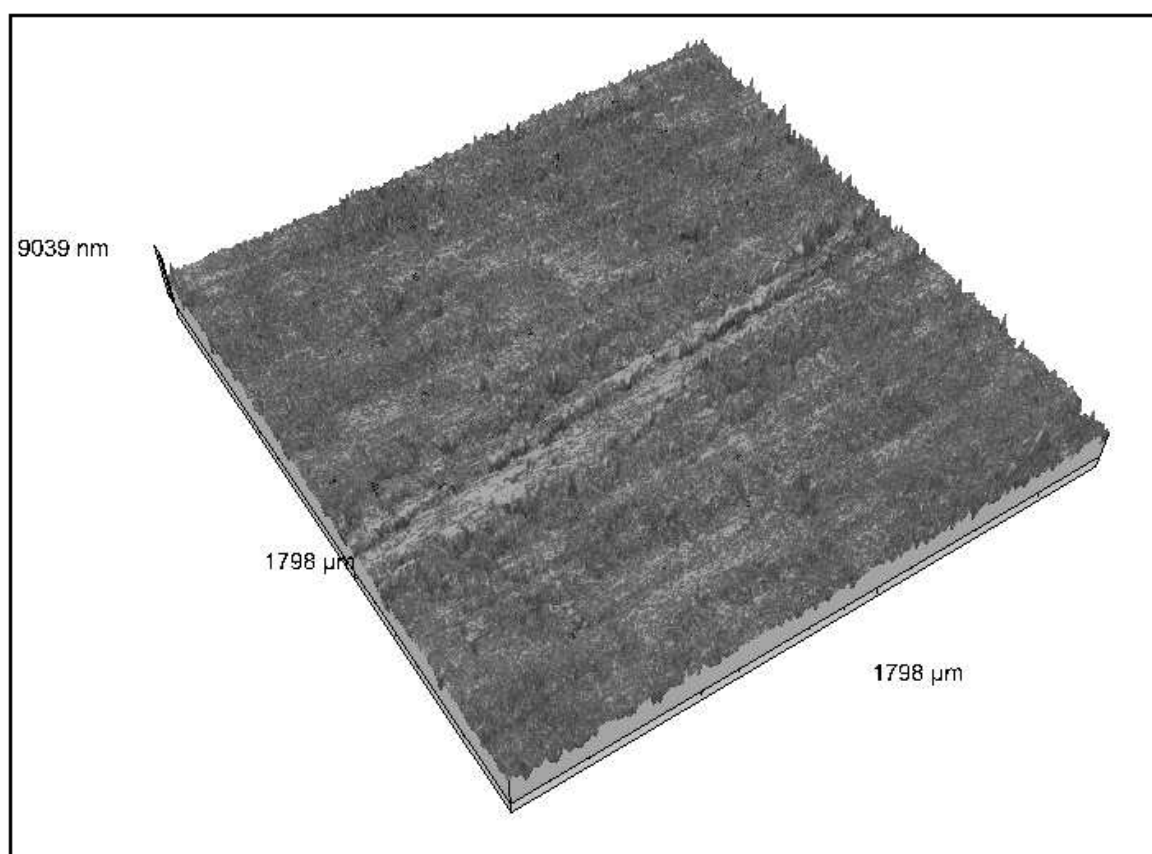
Data naměřená optickým profilometrem Talysurf CCI byla analyzována v programu Talymap. Pomocí tohoto programu byly získány údaje o nerovnosti povrchu plechu v proměřené oblasti. Na (obr. 7.15 a 7.16) je metalografický výbrus, který je kódován pomocí barev.



Obr. 7.15 metalografický výbrus kódovaný pomocí barev.



Obr. 7.16 metalografický výbrus kódovaný pomocí barev.



Obr. 7.17 3D reprezentace povrchu (matematická simulace světla na povrchu součásti)

Tab. 7.3 Parametry vypočítané na povrchu vzorku plechu

<b>Parametry vyhodnocené na povrchu součástky</b>	
$S_a$	= 459 nm
$S_q$	= 635 nm
$S_p$	= 4824 nm
$S_v$	= 4215 nm
$S_t$	= 9039 nm
$S_{sk}$	= -0.476
$S_{ku}$	= 5.57
$S_z$	= 8499 nm

### 7.3.3 Zhodnocení 2D a 3D metody

Na základě naměřených výsledků 2D a 3D měření, kde naměřené výsledky jsou v tabulkách (7.1 a,b,c), tabulkách (7.2 a,b,c) a tabulce 7.3, mohu konstatovat že hodnoty, které byly naměřeny se liší z důvodu toho, že 3D měření se měří na celé ploše vyhodnocované oblasti a 2D se měří na ekvidistančních liniích. Na těchto liniích, jak na svislé tak na vodorovné jsou různé výsledky z důvodů nerovností na ploše vyhodnocované součásti. Z toho důvodu nám vyšli různé výsledky měření drsnosti povrchu. Kvantitativnější charakteristiku povrchu můžeme dosáhnout pomocí různých metod, které mohou být seskupené do 2D a 3D parametrů, parametrů na základě integrální metody, vlnitosti atd. Kvalifikované metody založené na 2D jsou podrobně popsány v ČSN EN ISO 4287, 4288 a jsou nejvíce využívány. Kvalifikované metody pro 3D hodnocení se vykonávají na moderních měřicích systémech a zařízeních. Metody 3D nám nacházejí uplatnění při řešení různých povrchových problémů. Měření 3D není žádná triviální záležitost, kde pojem textura povrchu na mnoha různých výrobních procesech může zhodnotit až 40 parametrů drsnosti povrchu např. u přístroje Talysurf CCI 6000 dokáže vyhodnotit a analyzovat až 120 parametrů v měření 2D a 40 parametrů v měření drsnosti povrchu 3D.



## 8. Závěr

Teoretická část byla zaměřena na analyzování současného stavu měření drsnosti povrchu jak 2D metodou tak i 3D metodou. Byly zde popsány metody 2D, které se využívají jak pro dílenskou kontrolu tak i pro vědecké účely. Pro dílenskou kontrolu, kde potřebujeme snadno, rychle a efektivně změřit požadovanou drsnost povrchu, která byla stanovena na výkrese, výrobní dokumentaci nebo zákazníkem. Pro kontrolu se využívají normalizované vzorky etalonu, které nám zajišťují metrologické charakteristiky měřidel. U modernějších profilometrů nám umožní snímat až 10 parametrů drsnosti, ale u starších profilometrů nám umožní pouze základní parametry drsnosti např. ( $R_a$ ,  $R_z$ ,  $R_t$ ). Pro vědecké účely se využívají profilometry, u kterých je možné propojení s tiskárnou a počítačem do kterého se převádí výsledky měření. Tyto výsledky se dále analyzují a rozebírají podle různých programů a softwarů, ale pouze ve 2D měření. 3D hodnocení se vykonává na velmi moderních měřících přístrojích. Přístroje pro 3D měření jsou napojeny na počítač, který je vybaven softwarem pro analyzování a definování struktur povrchu. Dokáže analyzovat např. (příčný rozměr, rozteč, měření úhlů, počet vrcholů, frekvenční analýzy, úpravu dat atd.). Tyto měření se využívají ve strojírenství, v lékařství, v automobilovém a leteckém průmyslu, v elektrotechnice a řadou různých odvětví, které potřebují pro svou činnost velmi kvalitní zhodnocení povrchu. Přístroje 3D mají oproti přístrojům 2D řadu předností. U 3D přístrojů bylo zlepšeno uspořádání systému (mechanické i elektronické části), zlepšena pevnost konstrukce přístroje, zjednodušeno seřizování, zvýšená stabilita a opakovatelnost měření a zkrácení měřicího cyklu.

V praktické části se porovnávala drsnost povrchu pomocí 2D a 3D metody. Experiment se uskutečnil na univerzitě v Koszalině, kde se měřilo na přístroji Talysurf CCI 6000. Výchozím materiálem byl válcovaný plech za studena. Ve vyznačené oblasti plechu se naměřily 2D a 3D parametry drsnosti. U 2D měření se měřilo ve dvou ekvidistančních liniích (vodorovné a svislé). Z této ekvidistanční linie byl získán signál, který v sobě nesl informace o distribuci výškových fluktuací povrchu. Jak z vodorovné tak i ze svislé ekvidistanční linie byly vyhodnoceny grafy, které nám znázorňují (vlnění profilu Gauss filtru cut-off 0,8mm, profilovou křivku, křivku drsnosti, a křivku vlnitosti). Z těchto grafů byli informace zapsány a zdokumentovány v počítači. U 3D měření se měřilo na celé ploše v oblasti 5 x 5 mm. Na této ploše jsme získali informace o struktuře drsnosti povrchu. Tyto informace byli analyzovány v programu Talymap.

## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] BUMBÁLEK, B.; ODVODY, V.; OŠŤÁDAL, B. *Drsnost povrchu*. Praha: STNL-nakladatelství technické literatury, 1989. 340 s.
- [2] ČSN EN ISO 4287 : *Geometrické požadavky na výrobky*. Praha : Český normalizační institut, 1999. 24 s.
- [3] TICHÁ, Š.; ADAMEC, J. *Návody do cvičení z předmětu Strojírenská metrologie*. Ostrava : VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2008. 92 s.
- [4] VAČKÁŘ, J.; PERNIKÁŘ, J.; BUMBÁLEK, L. *Jakost a strojírenská metrologie : Návody do cvičení*. Brno : VUT Brno, 1993. 95 s.
- [5] *Www.tuke.sk/smetrologia* [online]. 2009 [cit. 2010-05-20]. Technická univerzita v Košicích. Dostupné z WWW: <web.tuke.sk/smetrologia/navody/uloha10.pdf>.
- [6] *Www.tuke.sk/smetrologia* [online]. 2009 [cit. 2010-05-20]. Technická univerzita v Košicích. Dostupné z WWW: <web.tuke.sk/smetrologia/lm3.html>.
- [7] VALÍČEK, J. *Snímání kvality povrchu materiálu pro řízení kapalinového paprsku : doktorská práce*. Ostrava : VŠB-TU Ostrava, 2003. 92 s.
- [8] OHLÍDAL, M.; PÁLENÍKOVÁ K. *Možnosti optického profilometru MicroProfFRT při hodnocení kvality povrchu. Jemná mechanika a optika*, 2004 č.9, s 251-259.
- [9] LIPTÁK, O. *Technológia výroby : obrábanie*. Bratislava : ALFA, 1979. 444 s.
- [10] Pokrok v měření a hodnocení struktury povrchu. *Mm průmyslové spektrum*. 16.března, 2004, 040603, s. 18-22. Dostupný také z WWW: <www.mmspektrum.com>.
- [11] Taylor Hobson. In . Brno : IMECO TH s.r.o., 2009. s. 1-12. Dostupné z WWW: <http://www.imeco-th.cz/Download/Profilomery%20bezkontaktni.pdf>.

- [12] Obrázek. In *Talysurf CCI 3000* [online]. Melbourne : Rosebank, 2009 [cit. 2010-05-20]. Dostupné z WWW: <<http://www.rosebank-eng.com.au/images/talysurfcci.jpg>>.
- [13] Plakát. In *ÚCHYLKY TVARU A POLOHY DLE DIN ISO DRSNOST POVRCHU* [online]. Teplice : HOMMEL CS s.r.o., 2010 [cit. 2010-05-20]. Dostupné z WWW: <<http://www.hommel-etamic.cz/cz/pdf/HOMMEL%20CS%20plakat.pdf>>.
- [14] Prospekt. In *Talysurf CLI* [online]. Anglie : [s.n.], 2008 [cit. 2010-05-20]. Dostupné z WWW: <<http://www.imeco-th.cz/Download/Prospekty/CLI%20%28CZ%29.pdf>>.
- [15] Drsnoměry Diavite. In *Drsnoměry Diavite : preciznost a inovace pro dílny a laboratoře* [online]. Technika a trh : [s.n.], 2010 [cit. 2010-05-20]. Dostupné z WWW: <[www.uzimex.cz](http://www.uzimex.cz)>.
- [16] Pdf - Untitled. In *Profiloměry kontaktní* [online]. Brno : IMECO TH s.r.o., 2010 [cit. 2010-05-20]. Dostupné z WWW: <<http://www.imeco-th.cz/Download/Profilomery%20kontaktni.pdf>>.
- [17] Mitutoyo - drsnoměry. In *Drsnoměry* [online]. Teplice : Mitutoyo Česko s.r.o., 2006 [cit. 2010-05-20]. Dostupné z WWW: <[http://www.mitutoyo.czech.cz/cz/pdf/06\\_drsnomery.pdf](http://www.mitutoyo.czech.cz/cz/pdf/06_drsnomery.pdf)>.
- [18] ČSN EN ISO 4288 : *Struktura povrchu: Profilová metoda*. Praha : Český normalizační institut, 1999. 14 s.
- [19] Microsoft PowerPoint. In *Microsoft PowerPoint - Talymap Twist* [online]. Teplice : HOMMEL CS s.r.o., 2009 [cit. 2010-05-20]. Dostupné z WWW: <[http://gps.fme.vutbr.cz/STAH\\_INFO/3-2\\_Hladik\\_Novak\\_Talymap\\_Twist.pdf](http://gps.fme.vutbr.cz/STAH_INFO/3-2_Hladik_Novak_Talymap_Twist.pdf)>
- [20] DE CHIFFRE, L., et al Quantitative Charakterisation of surface taxture . In *Quantitative Charakterisation of surface taxture* . EU : [s.n.], 2009. s. 635-652.

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obr. 3.1 Dotykový profilometr .....	12
Obr. 2.2 Vzorkovnice etalonů.....	12
Obr. 3.3 Princip mikroskopu Comparex.....	13
Obr. 3.4 Schéma dvojitého mikroskopu pro měření drsnosti povrchu metodou světelného řezu.....	14
Obr. 3.5 Tvar světlozelené stužky ve tmavém poli .....	14
Obr. 3.6 Optické schéma interferometru.....	15
Obr. 3.7 Pohled do okuláru interferometru .....	16
Obr. 3.8 Schéma bezkontaktní optické stínové metody .....	16
Obr. 3.9 Princip činnosti optického profilometru MicroProf FRT v základním provedení s optickým. senzorem CHR 150N.....	17
Obr. 3.10 Největší výška výstupků profilu (příklad profilu drsnosti).....	18
Obr. 3.11 Největší hloubka prohlubní profilu (příklad profilu drsnosti) .....	19
Obr. 3.12 Největší výška profilu (příklad profilu drsnosti).....	19
Obr. 3.13 Výška prvků profilu (příklad profile drsnosti).....	19
Obr. 3.14 Parametr Ra.....	20
Obr. 3.15 Parametr Rq.....	20
Obr. 3.16 Parametr Rsk.....	21
Obr. 3.17 Parametr Rku.....	21
Obr. 3.18 Parametr Rsm.....	22
Obr. 3.19 Parametr Rm(c) .....	23
Obr. 3.20 Geometrické parametry.....	23
Obr. 3.21 Přenosová charakteristika profile drsnosti a vlnitosti... <b>Chyba! Záložka není definována.</b> .....	24
Obr. 3.22 Profil povrchu .....	25
Obr. 4.1 Indukční snímač.....	27
Obr. 4.2 CLA snímač.....	28
Obr. 4.3 Laserový snímač .....	29
Obr. 5.1 Talysurf CLI 2000 .....	31
Obr. 5.2 Talysurf CLI 1000 .....	32
Obr. 5.3 Talysurf CLI 500 .....	32

Obr. 5.4 Talysurf CCI 3000 .....	33
Obr. 5.5 Talysurf CCI 6000.....	34
Obr. 5.6 Surtonic 25.....	35
Obr. 5.7 Form Talysurf Intra .....	36
Obr. 5.8 SURFTEST SJ-301.....	37
Obr. 6.1 Horní mez parametru struktury drsnosti.....	40
Obr. 6.2 Parametry programu Talymap .....	44
Obr. 6.3 Foto simulace.....	45
Obr. 6.4 3D informace.....	45
Obr. 6.5 3D mapování.....	45
Obr. 6.6 2Dinformace.....	45
Obr. 6.7 2D a 3D parametry analýz a programové moduly.....	46
Obr. 7.1 Oblast měření struktury povrchu.....	47
Obr. 7.2 Metalografický výbrus výchozího materiálu.....	47
Obr. 7.3 Snímání povrchu plechu .....	48
Obr. 7.4 Talysurf CCI 6000 .....	48
Obr. 7.5 Ekvidistanční linie v distanční oblasti .....	49
Obr. 7.6 Vlnitost profilu, gauss filtr cut – off 0,8 mm.....	49
Obr. 7.7 Profilová křivka (délka=1798 $\mu\text{m}$ , Pt=5551nm) .....	49
Obr. 7.8 Křivka drsnosti (délka=1717 $\mu\text{m}$ , Pt=5168nm) .....	50
Obr. 7.9 Křivka vlnitosti (délka=1717 $\mu\text{m}$ , Pt=1580nm) .....	50
Obr. 7.10 Ekvidistanční linie v distanční oblasti.....	51
Obr. 7.11 Vlnění profilu, gauss filtr cut-off 0,8 mm.....	52
Obr. 7.12 Profilová křivka (délka=1798 $\mu\text{m}$ , Pt=5866nm) .....	52
Obr. 7.13 Křivka drsnosti (délka=1717 $\mu\text{m}$ , Pt=4322nm) .....	52
Obr. 7.14 Křivka vlnitosti (délka=1717 $\mu\text{m}$ , Pt=2283nm) .....	52
Obr. 7.15 Metalografický výbrus kódovaný pomocí barev.....	54
Obr. 7.16 Metalografický výbrus kódovaný pomocí barev. ....	55
Obr. 7.17 3D reprezentace povrchu (matematická simulace světla na povrchu součásti)....	55

## SEZNAM TABULEK

Tab. 3.1	Nevýhody a výhody mechanických metod.....	11
Tab. 3.2	Výhody a nevýhody optických metod.....	17
Tab. 4.1	Parametry 3D.....	29
Tab 6.1	Základní délky drsnosti.....	42
Tab. 7.1a	Parametry vyhodnocené na povrchu součásti ze svislé měřicí linie v distanční oblasti – nefiltrované parametry.....	50
Tab. 7.1b	Parametry vyhodnocené na povrchu součásti ze svislé měřicí linie v distanční oblasti – parametry drsnost.....	51
Tab. 7.1c	Parametry vyhodnocené na povrchu součásti ze svislé měřicí linie v distanční oblasti – vlnitost parametrů.....	51
Tab. 7.2a	Parametry vyhodnocené na povrchu součásti z vodorovné měřicí linie v distanční oblasti – nefiltrované parametry.....	53
Tab. 7.2b	Parametry vyhodnocené na povrchu součásti z vodorovné měřicí linie v distanční oblasti – parametry drsnosti.....	53
Tab. 7.2c	Parametry .....	53
Tab. 7.3	Parametry vypočítané na povrchu vzorku plechu.....	56

### **Poděkování**

Rád bych touto cestou poděkoval své vedoucí bakalářské práce Ing. Lence. Čepové, PhD. za poskytnutí cenných rád a informací a také panu doc. Ing. Janu Valíčkovi, Ph.D. za pomoc při měření a cenné rady při zpracování dat.